



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**KOMUNIKAČNÍ STANDARDY
V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU**

DATA BUSES IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Plíšek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Lubor Zháňal, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Marek Plíšek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Lubor Zháňal, Ph.D.**
Akademický rok: 2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Komunikační standardy v automobilovém průmyslu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Moderní vozidla obsahují mnoho řídicích jednotek, které spolu komunikují prostřednictvím sběrnic různého typu, jako např. CAN Bus, Ethercat, atd. Cílem této práce je shromáždění podkladů a porovnání funkčních a provozních vlastností jednotlivých sběrnic.

Cíle bakalářské práce:

Rešerše aktuálního stavu na poli datových sběrnic.
Popis jednotlivých typů.
Porovnání vlastností.
Odhad budoucího vývoje.

Seznam doporučené literatury:

PARET, Dominique. Multiplexed networks for embedded systems: CAN, LIN, flexray, safe-by-wire..
Hoboken: Chichester: John Wiley, 2007, xiii, 418 s. : il. ISBN 978-0-470-03416-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tématem bakalářské práce jsou datové sběrnice v automobilech. Cílem práce je popis datových sběrnic a porovnání jejich klíčových vlastností a funkčních parametrů. Zdroje pro porovnání sběrnic jsou čerpány z tuzemských i zahraničních zdrojů. Práce přináší kompletní srovnání všech běžně užívaných datových sběrnic: CAN, LIN, FlexRay, MOST, Ethernet. Výstupem analýzy je přehledná tabulka vlastností a parametrů sběrnic s popisem jejich výhod a nevýhod. Práce je doplněna úvahou nad budoucím vývojem komunikačních systémů v automobilech.

KLÍČOVÁ SLOVA

Datová sběrnice, CAN Bus, přenos dat

ABSTRACT

The topic of the bachelor thesis is data buses in cars. The aim of the work is to describe data buses and compare their key properties and functional parameters. Sources for bus comparison are drawn from domestic and foreign sources. The work brings a complete comparison of all commonly used data buses: CAN, LIN, FlexRay, MOST, Ethernet. The output of the analysis is a clear table of properties and parameters of buses with a description of their advantages and disadvantages. The work is supplemented by a reflection on the future development of communication systems in cars.

KEYWORDS

Databus, CAN Bus, data transmission

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PLÍŠEK, M. *Komunikační standardy v automobilovém průmyslu*. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 44 s. Vedoucí diplomové práce Lubor Zháňal.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Lubora Zháňala, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Marek Plíšek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Luborovi Zháňalovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné připomínky při tvorbě mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za rady a trpělivost.

OBSAH

Úvod	10
1 Datové sběrnice	11
1.1 Historie datových sběrnic v automobilech	11
1.2 Technické parametry sběrnic.....	12
1.3 Dělení datových sběrnic	12
1.4 Digitální a analogový signál.....	13
1.5 Převodníky signálů	13
1.6 Způsoby přenosu signálu.....	14
1.6.1 Měděné vodiče	14
1.6.2 Koaxiální kabely	14
1.6.3 Optická vlákna	14
1.7 Odrušení signálu.....	15
2 CAN (Controller Area Network)	16
2.1 Základní vlastnosti	16
2.2 Fyzické prvky	17
2.3 Způsob přenesení dat.....	18
2.4 Zabezpečení a detekce chyb	19
2.5 Pole datového protokolu.....	20
2.6 CAN FD	21
3 LIN (local interconnect network)	22
3.1 Základní vlastnosti	22
3.2 Princip funkce.....	22
3.3 Rámec zprávy	22
3.4 Komunikační struktura	23
4 FlexRay	25
4.1 Základní vlastnosti	25
4.2 Druhy topologie.....	25
4.3 Komunikační cyklus.....	27
4.4 Fyzický přenos	28
4.5 Rámec zprávy	28
5 MOST (Media Oriented System Transport)	30
5.1 Základní vlastnosti	30
5.2 Druhy :.....	31
5.3 Rámec zprávy	31
6 Ethernet.....	32
6.1 Rámec zprávy.....	32
6.2 Typy Ethernetu	33
6.3 Protokoly	35
7 Porovnání sběrnic	36
7.1 Příklad použití sběrnic v automobilu.....	37

8	Odhad budoucího vývoje sběrnic.....	39
	Závěr.....	40
	Použité informační zdroje.....	41
	Seznam použitých zkratek a symbolů.....	44

Úvod

Automobilový průmysl patří k nejvýznamnějším hospodářským odvětvím jak v České republice, tak v celosvětovém měřítku. Celá jeho historie je provázena vývojem technologických inovací, v 21. století orientovaným především na využití elektronických zařízení a systémů. Už v minulém století se v automobilech uplatňovala elektronická zařízení, například centrální zamykání, elektronické vstřikování nebo elektronické systémy zajišťující vyšší bezpečnost jako antiblokovací ABS nebo protiskluzový ASR. Současný vývoj směřuje ke stále většímu zapojení celé řady elektronických řídicích systémů přispívajících k optimalizaci jízdního provozu, zvýšení bezpečnosti, hospodárnosti a komfortu jízdy. Jako příklad můžeme uvést adaptivní tempomat, elektronické řízení převodovky nebo asistenční či zádržné a ochranné systémy.

Klíčové pro fungování takových elektronických systémů je jejich propojení navzájem stejně jako spojení s centrální řídicí jednotkou automobilu. Ke komunikaci elektronických systémů v automobilech slouží datové sběrnice.

Záměrem této práce je přehled a analýza parametrů používaných typů datových sběrnic od počátku jejich využívání až do současnosti, s důrazem na popis a porovnání komunikace pomocí vodičů, nikoli bezdrátové komunikace, a to proto, že bezdrátová komunikace se zatím používá v mnohem menší míře. Výstupem této práce je komplexní přehled sběrnic a jejich kombinace ve vozidlech, dále také odůvodněný předpoklad budoucího vývoje. Mojí motivací toto téma kvalitně zpracovat je vlastní zkušenost s těmito sběrnici a s jejich diagnostikou.

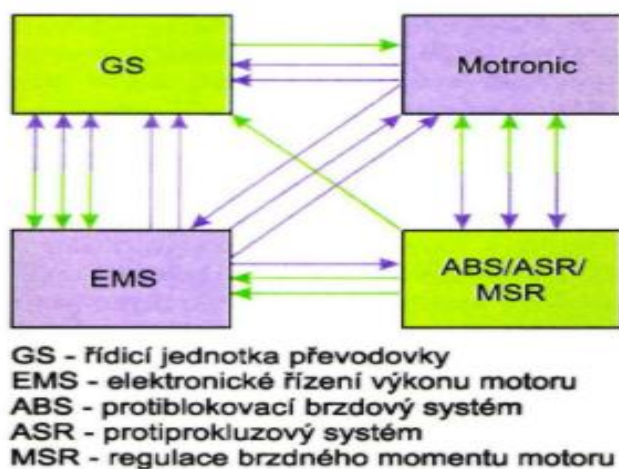
1 DATOVÉ SBĚRNICE

Pojmem sběrnice se obecně rozumí soustava vodičů. Tyto vodiče přenáší signály, data a řídicí povely mezi jednotlivými elektronickými zařízeními. Pro přenos se používá takzvaný protokol, ten musí akceptovat všechny části počítače, které jsou ke sběrnici připojeny. Protokol bývá většinou standardizovaný. U běžných počítačů sběrnice propojuje mikroprocesor, operační paměť a dále například grafické karty, zvukové karty, síťové rozhraní atd. Dále třeba umožňuje propojení s externími sběrnicemi jako jsou USB nebo I2C [1].

1.1 HISTORIE DATOVÝCH SBĚRNIC V AUTOMOBILECH

Zavádění elektroniky do automobilů se datuje od počátku sedmdesátých let. Tehdy se poprvé objevily snahy výrobců automobilů zvýšit úroveň bezpečnosti a také snížit množství škodlivin ve výfukových plynech, což souviselo s tehdejší celosvětovou ropnou krizí. Ve druhé polovině osmdesátých let již vozy vyšší třídy disponovaly velice bohatou výbavou. Od vyhřívaných a stavitelných sedadel, přes klimatizaci až po samočinné převodovky. Jednotlivé řídicí jednotky musely být navzájem spojené, poněvadž spolu potřebovaly navzájem komunikovat. Ke každé řídicí jednotce jsou určena speciální čidla, snímače a akční členy.

Komunikace mezi těmito jednotkami musí být vzájemně skloubené, aby mohli jednotlivě fungovat. A tak je velmi výhodné, aby snímače a čidla využívaly více řídicích jednotek. Z počátku byly řídicí jednotky spojeny konvenčním rozhraním, znázorněným na obrázku č. 1. To znamenalo, že každý signál byl veden po samostatném vedení. Toto propojení obnášelo velké množství kabelů, což byl problém jednak z hlediska ceny, ale také celkové váhy, protože vodičů mohly být až desítky kilometrů. S přibývajícím řídicími jednotkami bylo třeba je propojit jinou formou, aby jejich spolupráce byla co nejrychlejší a nejefektivnější. Proto se začalo používat sériové rozhraní. Signály z jednotlivých jednotek se pomocí sběrnic dostávají do tzv. centrální řídicí jednotky. Ta signály vyhodnocuje a přidává jim prioritu dle důležitosti a závažnosti probíhajících situací. Datové sběrnice mají za úkol zajistit přenos dat a řídicích povelů mezi elektronickými zařízeními [2, 3, 4].



Obrázek 1. Konvenční způsob přenosu dat [3]

1.2 TECHNICKÉ PARAMETRY SBĚRNIC

Mezi nejdůležitější technické parametry se řadí:

- Šířka přenosu – počet bitů, které lze zároveň po sběrnici přenést,
- počet připojených míst – zatížení,
- rychlost (propustnost) – (B/s),
- impedance – odpor (Ohm),
- délka sběrnice (m),
- konektory [5].

Důležitými parametry sběrnic jsou dále například frekvence u synchronních sběrnic. Propustnost sběrnice (rychlost přenosu dat) určuje množství přenesených dat za jednotku času. U sériových sběrnic, po kterých se přenáší signály po bitech, se rychlost vyjadřuje v počtu přenesených bitů za sekundu, tedy v jednotkách b/s, kb/s, Mb/s, Gb/s. U paralelních sběrnic, kde se přenáší data po bajtech jsou jednotky propustnosti B/s, kB/s, MB/s, GB/s. Přístupová doba na sběrnici je důležitá, když je ke sběrnici připojeno více zařízení. Platí zde, že pouze jedno zařízení může vysílat data a ostatní zájemci musí čekat [6].

1.3 DĚLENÍ DATOVÝCH SBĚRNIC

Datové sběrnice lze rozdělit do několika kategorií. V této podkapitole je uvedeno 5 kategorií rozdělení [1, 5].

PODLE UMÍSTĚNÍ

1. Externí – U nich je kladen důraz, aby měly kvalitní konektory a aby nebyla překročena maximální délka vodičů, a také aby byl použit přenosový protokol, který bude odolný vůči chybám, jež vznikají při rušení přenosu.
2. Interní – O těchto sběrnících lze naopak říct, že dosahují větších přenosových rychlostí, a to zejména protože bývá ekonomicky únosné použít více vodičů [1, 5].

PODLE NAPOJENÍ NA OBVODY

1. Lokální sběrnice – Je připojena přímo na mikroprocesor. Je to sice jednoduché řešení a tím pádem i levné, ale nevýhodou je, že její vlastnosti jsou ovlivněny vlastnostmi procesoru, například nežádoucí externí taktovací kmitočet a napěťové úrovně signálu [1, 5].
2. Universální sběrnice – Je zde přesně definované rozhraní, takže připojená zařízení mezi sebou komunikují téměř nezávisle na mikroprocesoru [1, 5].

PODLE SYNCHRONIZACE PŘENOSU

1. Synchronní – U tohoto přenosu dat je přijímač a vysílač řízen stejným zdrojem hodinového signálu, což je optimální řešení pro obvody v jednom přístroji nebo pro přístroje pevně spojené. Výhodný je synchronní přenos pro větší objem dat.

2. Asynchronní – Tato sběrnice po odeslání požadavku je obsazena tak dlouho, dokud nedojde odpověď. U asynchronního přenosu jsou data přenášena přesně danou rychlostí a startovací sekvencí. Na tu se pak synchronizují ostatní přijímací zařízení. Nevýhodný je asynchronní přenos pro velký objem dat a další nevýhodou je potřeba použití dražší elektroniky oproti synchronní sběrnici. Je vhodný pro dlouhé vedení a také pro komunikaci mezi více zařízeními [1, 5].

PODLE USPOŘÁDÁNÍ

1. Sériové – Sériový přenos dat probíhá tak, že jde bit po bitu v řadě za sebou. Je to úsporný přenos z hlediska počtu vodičů, protože stačí kroucený pár nebo dvoulinka kabelů. To je spojené s jednoduchými konektory a díky tomu je zaručena vysoká spolehlivost. U tohoto typu přenosu nedochází k vzájemnému ovlivňování bitů.
2. Paralelní – Paralelní přenos přenáší současně 8, 16, 32 bitů dat, obvykle je to třetí nebo vyšší mocnina čísla 2. Pro každý bit je zapotřebí jeden vodič, který má vzájemnou kapacitu a indukčnost. Při přenosu dat na velké vzdálenosti a vysoké rychlosti dochází k rušení signálů a tím začínají vznikat chyby. Při delším přenosu je tedy třeba vyčkat, než rušivé impulzy zmizí a poté data číst. To se odrazí právě na rychlosti přenosu. V praxi se tato dvě uspořádání mohou kombinovat [1, 5].

PODLE SMĚRU PŘENOSU

1. Jednosměrné – Méně častá varianta, používaná dříve nebo při přenosu dat, kde stačí pouze jednosměrný přenos dat.
2. Obousměrné – V současné době požadují téměř všechna zařízení obousměrnou komunikaci. Je tomu tak i u externích sběrnic u kterých se třeba nezdá, že by byla komunikace obousměrná, jako například u stolního počítače u klávesnice. Ta se jeví jako jednosměrné zařízení ve skutečnosti vyžaduje obousměrnou komunikaci, třeba na nastavení opakování stlačené klávesy [1, 5].

1.4 DIGITÁLNÍ A ANALOGOVÝ SIGNÁL

Digitální signál je vyjádřený číslem, nebo posloupností čísel. Tato čísla představují průběh veličin v čase. Příkladem může být třeba kalkulačka či digitální hodinky. Zatímco analogový signál je spojitý v čase i ve veličině, to znamená že se mění hodnota postupně s časem. Dobrý příklad je třeba rtuťový teploměr nebo ručičkové hodiny. K převedení těchto dvou signálů je zapotřebí převodníků signálů [7].

1.5 PŘEVODNÍKY SIGNÁLŮ

Převodníky umožňují převod mezi analogovým signálem a číslicovou formou signálu (digitální). Pro převod z analogového signálu na digitální je takzvaný A/D převodník. Naopak z digitálního na analogový signál je D/A převodník. U A/D převodníku je výsledkem převodu binární kód. Analogový signál nejprve vzorkujeme (v určitém okamžiku změříme amplitudu), a poté převedeme kvantováním na digitální tvar a tím se vytvoří datové slovo. K zajištění přesnosti se musí zajistit dostatečná rychlost vzorkování. D/A převodník převádí číslicový signál

na napětí nebo proud. Principem funkce je, že digitální signál ovládá elektronické přepínače a přepínáním rezistorů se vytváří výstupní napětí [7].

1.6 ZPŮSOBY PŘENOSU SIGNÁLU

Přenosová cesta vytváří podmínky pro přenos signálů. Nejčastěji se jedná o drátovou komunikaci. Do této komunikace spadají měděné vodiče, koaxiální kabely a optická vlákna. Dále se může jednat o bezdrátovou komunikaci, kde přenosovým prostředím je vzduch [9].

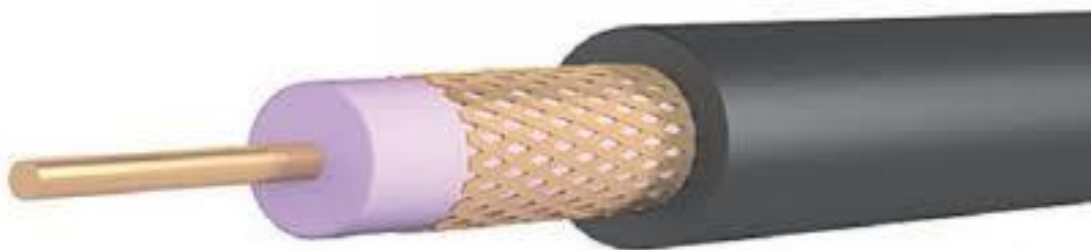
1.6.1 MĚDĚNÉ VODIČE

Měděnými vodiči je myšlen takzvaný symetrický kabel (kroucený pár vodičů), který je nejlevnější a zároveň ale nejméně výkonný typ. Je totiž omezený svými fyzikálními vlastnostmi. Zejména je omezena přenosová rychlost a také při přenosech signálů o frekvencích na 15 MHz vykazuje velké ztráty na vedení. Každý z vodičů je obklopen nevodivým izolačním materiálem (např. PVC). Vyrábí se mnoho typů lišících se z hlediska konstrukce či složení [9].

1.6.2 KOAXIÁLNÍ KABELY

Koaxiální kabel je tvořen dvěma vodiči. Po vnitřním jednožilovém, většinou měděném vodiči, se přenáší signály. Vnější vodič funguje jako stínění. Mezi vodiči je izolační materiál (pěna), který oba vodiče odděluje. Celý kabel je obklopen izolačním materiálem. Tento kabel má vyšší odolnost vůči elektromagnetickému rušení a také proti indukovanému napětí než symetrický kabel. Avšak jeho slabinou je chránění proti magnetickému rušení [9].

Používat se může v mnoha provedeních, dle požadovaných podmínek. U Ethernetu se používají dva typy. Silný (thick) vodič, který má několik vrstev izolace a stínění, ale tím je omezena jeho ohebnost, nicméně je odolnější vůči rušení. Druhý typ je tenký (thin), ten má pouze jednu vrstvu stínění, takže není chráněn tolik před vnějšími vlivy. Má ale větší pružnost a je levnější [9].



Obrázek 2 Koaxiální kabel [8]

1.6.3 OPTICKÁ VLÁKNA

Optické kabely přenáší informace pomocí světelného signálu nikoli elektrického signálu. Umožňují dosahovat vysoké přenosové rychlosti, také jsou lehké a nevadí jim delší přenosová vzdálenost. Skládají se ze tří částí: světlovodného jádra, které je vyrobené z křemíkového skla s vysokou čistotou, dále jeho obal, který je rovněž zhotoven z křemíkového skla, avšak v odlišném složení. Poslední částí je plášť z akrylátové sloučeniny, jako ochrana vlákna [9].

Používají se dva typy optických vláken. Jednovidové, které využívají laser ke generování světelného paprsku, díky tomu dosahuje značných vzdáleností, až desítky kilometrů. Druhým

typem jsou mnohovidové, které používají jako zdroj generování světla světelnou diodu. Světelná dioda vysílá všemi směry, a proto dochází ve vláknech k nežádoucím odrazům a tím je omezena vzdálenost dosahu do stovek metrů. Největší nevýhodou optických kabelů je cena, která je mnohonásobně vyšší než u předchozích typů přenosu signálu [9].

1.7 ODROUŠENÍ SIGNÁLU

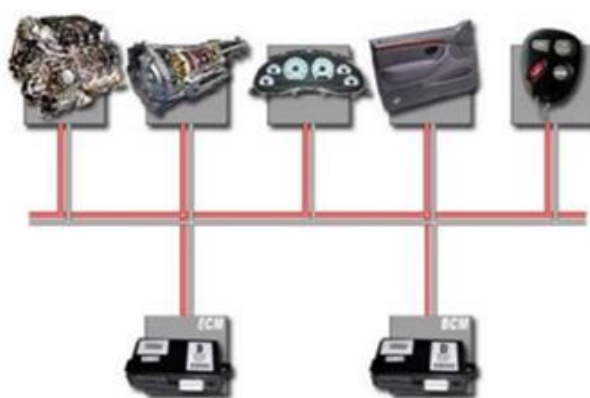
S přenosem signálu se úzce pojí odrušení, a tak ho zde krátce nastíním. Elektrická zařízení i kovové části motorového vozidla jsou zdroji elektrických kmitů. U motorových vozidel je zdrojem rušení hlavně zapalovací soustava, ale také různé vypínače nebo rychlá změna elektrického stavu. Jako odrušovací prostředky se používají odpory, kondenzátory či stínění kabelů. K zamezení rušivých vlivů se používá také například symetrické vedení signálu, které vzniklo u audio vedení a pro svou funkci potřebuje tři vodiče. Dalším typem zamezení rušivých vlivů se využívá komunikace pomocí krouceného páru vodičů [10].

2 CAN (CONTROLLER AREA NETWORK)

Datová sběrnice CAN (CAN – Controller Area Network) byla vyvinuta v roce 1983 firmou Robert Bosch GmbH. Byla vynalezena pro automobilový průmysl, nicméně hned po osvědčení svých dobrých vlastností se začala využívat i v průmyslové automatizaci. Tam se začala používat zejména k propojení čidel, snímačů a dalších. První auto, které bylo vybaveno touto sběrnici bylo BMW 850 coupe, již v roce 1986. Ušetřilo se tím téměř 2 km vodičů a hmotnost se snížila až o 50 kg. To se následně promítlo i ve spotřebě a nákladech na výrobu automobilu. Značnou výhodou tohoto řešení přenosu dat byla také možnost rozšíření o další řídicí jednotky. Datová sběrnice CAN má význam, pokud je třeba přenášet větší množství informací mezi mnoha řídicími jednotkami. Zjednodušila se i diagnostika automobilů, servisní mechanik se připojil přes speciální diagnostický program a tzv. servisní konektor a počítač mu zobrazil elektronické závady jednotlivých částí automobilu [11,12,13].



Obrázek 4 Kabeláž bez CAN Bus [12]

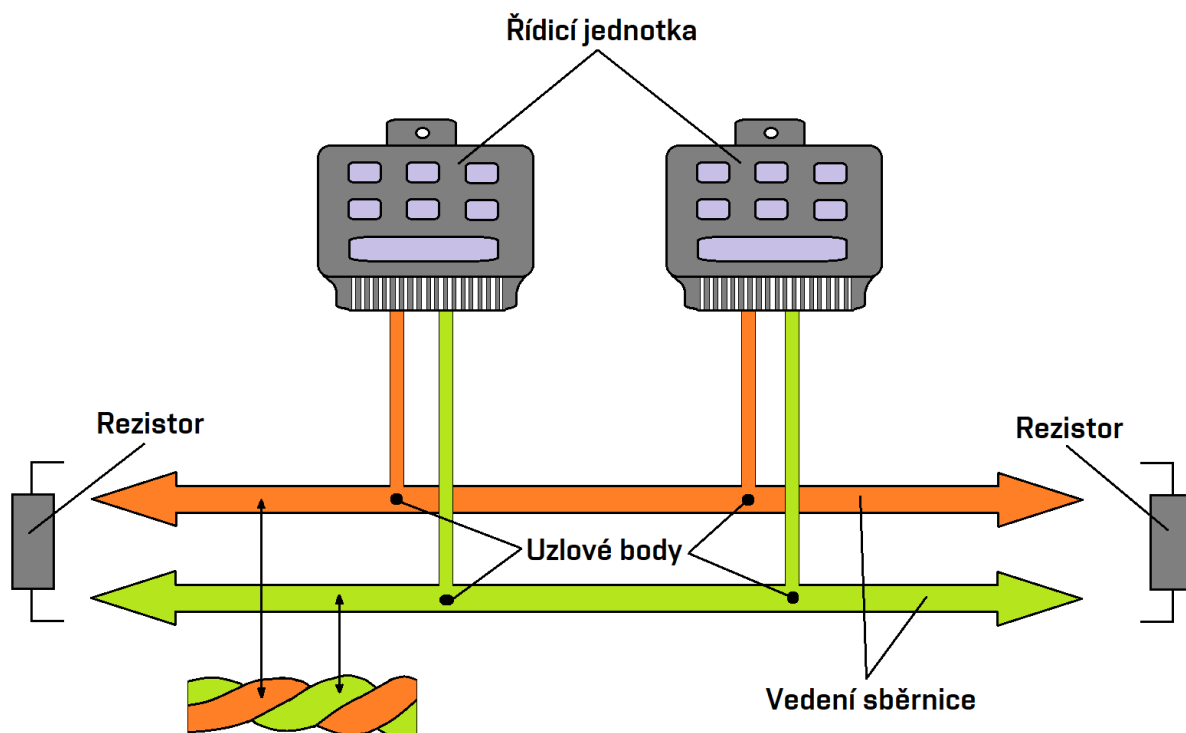


Obrázek 3 Kabeláž s CAN Bus [12]

2.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI

Sběrnice CAN je sériový datový protokol, který propojuje elektronické zařízení v reálném čase a má vysokou míru zabezpečení proti chybám. Je to protokol typu multi-master, kde každý z uzlů sběrnice může být master a řídit tak chování ostatních uzlů. Master je řídicí zařízení, které může kdykoliv (samozřejmě když je klid na sběrnici atd.) vyslat požadavek na zprávu kterou on sám potřebuje.

Po sběrnici komunikují jednotky pomocí datových zpráv. Data nejsou určena žádnému cílovému uzlu, a tak mohou zprávu přijímat všechny sběrnice které jsou připojeny. CAN je vyroben pomocí dvou vodičů, které jsou vzájemně zkrouceny do sebe. Zkroucení snižuje riziko rušení a tím také porušení datové zprávy. Zkroucením vedení je přenášen rozdílový (diferenční) signál a tím je zajištěn nulový součet napětí v každém okamžiku. Elektromagnetické vlivy se tak vzájemně od obou vedení vyruší, a tak se vůči svému okolí chová vedení neutrálně. Na obou koncích sběrnice jsou rezistory o odporu 120 Ohmů. Ty zde slouží jako ochrana, eliminují odrazy signálů a následné přetížení sběrnice. CAN se skládá se z vodiče CAN High a CAN Low. Toto označení značí úroveň signálu, který daný vodič přenáší. Maximální rychlost přenosu vodiče CAN high je až 1 Mb/s a vodiče CAN low až 125 kb/s. Maximální délka sítě je 40 metrů a datové pole má 8 bajtů v jedné zprávě. Ke sběrnici se připojují řídicí jednotky pomocí uzlových bodů, maximální udávaný počet uzlů je 32 [14,15].



Obrázek 5 Připojení řídicích jednotek na sběrnici CAN [13]

2.2 FYZICKÉ PRVKY

- Mikropočítač – Mikrokontroler

Je srdcem řídicí jednotky, má za úkol přijímat a vyhodnocovat data, dále také data odesílá CAN Controlleru.

- Řadič CAN – CAN Controller

Jeho úkolem je připravit data na odeslání a předat je vysílači. Naopak od vysílače přijímá data a připravuje je pro mikrokontroler.

- Budič CAN – CAN Transceiver

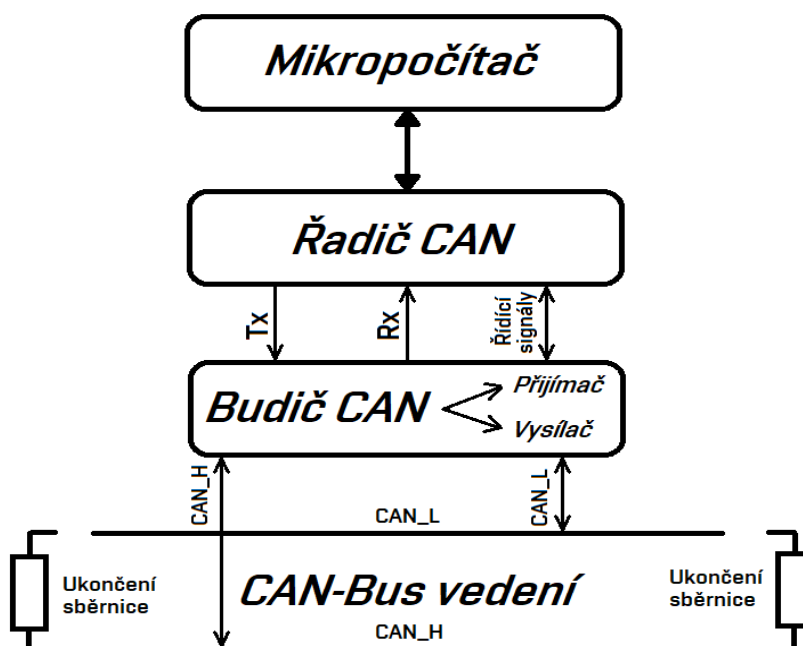
Je to přijímač a vysílač. Převádí data, které přijme od CAN Controlleru na elektrické signály sběrnice. Funguje stejně tak i v opačném směru, tam přijímá elektrické signály a přeměňuje je na data pro řadič.

- CAN-Bus – Vedení datové sběrnice

Realizováno pomocí dvou kroucených vodičů.

- Ukončení datové sběrnice

Je realizováno pomocí rezistorů, ty zabraňují odrazům elektrických signálů [13].



Obrázek 6 Struktura řídicí jednotky pro zapojení do systému CAN Bus [13]

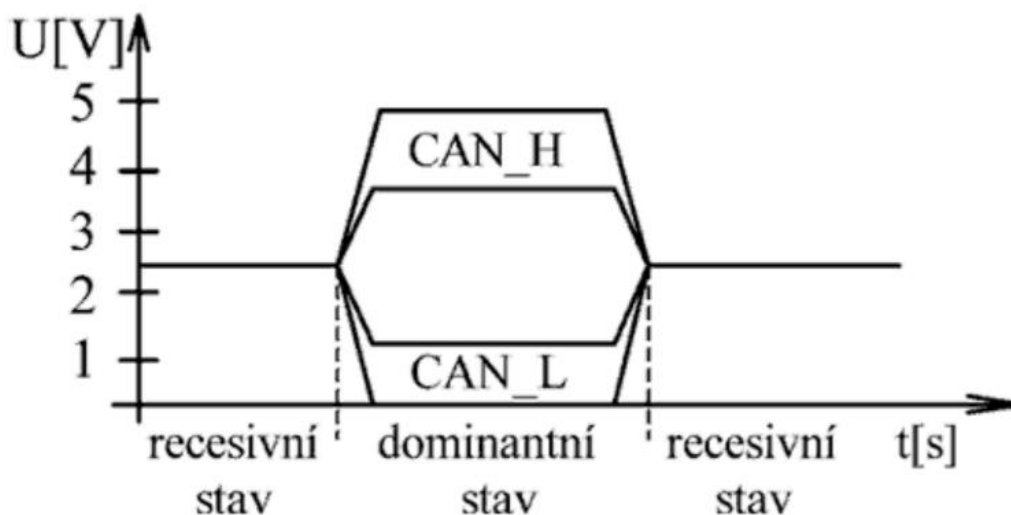
Principem funkce sběrnice CAN je, že zprávy vznikají v řídicí jednotce. Obsah zprávy (např. vstřikování paliva do motoru) je označen jako identifikátor. Identifikátor je jedinečný v celé síti a definuje nejenom obsah, ale také prioritu zprávy. CAN Controller zařadí data a předává požadavky na zaslání zpráv CAN Transciever. Ten data přemění na sériové elektrické signály. Jakmile CAN Transciever získá přístup na sběrnici, ostatní zařízení v síti CAN se stanou přijímači. Každá stanice vykoná test, zdali jsou data pro ni, pokud ano, zpracuje je. V opačném případě data ignoruje [16].

Pro zpracování dat v reálném čase je důležitý rychlý přenos dat. Požadována je fyzická datová cesta s rychlostí okolo 1 Mbit/s a také rychlé připojení na sběrnici pro případ současného přenosu zprávy více stanicím. U zpracování jednotlivých zpráv v reálném čase se rozlišuje priorita zprávy. Veličiny měnící se rychleji (např. vstřikování paliva do motoru) jsou přenášeny častěji než ostatní veličiny, které se mění pomaleji (např. teplota motoru). Při návrhu systému je určena priorita pomocí identifikátoru a vytvořený systém pak nelze měnit. Nejkratší binární číslo identifikátoru má největší prioritu [16].

2.3 ZPŮSOB PŘENESENÍ DAT

Sběrnici jsou přenášeny dva logické stavy: pasivní „recesivní“ a aktivní „dominantní“. Dominantní stav představuje logickou 0 a recesivní logickou 1. Sběrnice je v aktivním stavu, když je alespoň jeden její uzel v dominantním stavu. V pasivním stavu je sběrnice, pokud jsou všechny její uzly v recesním stavu a v tomto stavu je rozdíl napětí mezi vodiči CAN_L a CAN_H nulový. U dominantního stavu je rozdíl napětí nenulový. Konstrukce spínačů signálových vodičů je taková, aby v dominantním stavu bylo na vodiči CAN_H napětí v rozsahu mezi 3,5 až 5 V a na vodiči CAN_L napětí v rozsahu 0 až 1,5 V.

U recesivního stavu je napětí stejné na obou vodičích a je zajištěno odporovou sítí na vstupu přijímače. Na obr. 6 je znázorněná toleranční pásma napětí u logických stavů. Zde je také patrné, že jednotlivé signálové vodiče CAN_H a CAN_L jsou vzájemně logicky invertované, aby se zabránilo přenosu rušivých vlivů [17].



Obrázek 7 Toleranční pásma napěťových úrovní logických stavů na sběrnici CAN [17]

2.4 ZABEZPEČENÍ A DETEKCE CHYB

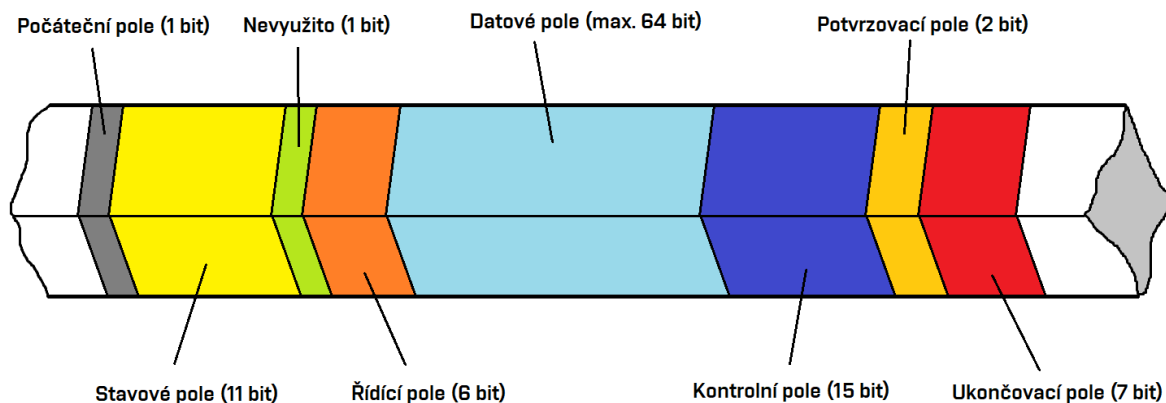
Sběrnice CAN má pět mechanismů k detekci chyb.

1. Monitorování bitů – Zde odesílatel porovnává odeslanou bitovou úroveň se skutečnou úrovní sběrnice. Chyba vznikne, pokud odesílatel zjistí rozpor mezi těmito dvěma úrovněmi.
2. Monitorování formátů zpráv (Form Check) – Kontrola formuláře slouží ke kontrole formátu zprávy. Každá zpráva CAN vykazuje vždy na určitých pozicích stejné bitové sekvence. Jedná se o poslední tři pole v protokolu CAN, a to tedy CRC, ACK a EOF jak je již vidět na obr. 8. Chyba formátu vznikne, pokud na těchto bitech detekuje přijímač dominantní stav.
3. Sledování bitového kódu (Stuff Check) – Tento mechanismus slouží ke kontrole bitového toku. Protokol CAN specifikuje, že odesílatel musí vyslat doplňkový bit po pěti homogenních bitech – kvůli synchronizaci. Pokud je přijato víc než pět homogenních souvislých bitů, dojde k chybě.
4. Ověření kontrolního součtu (CRC – Cyclic Redundancy Check) – předposledním typem je cyklická kontrola. Zde se sčítají data a měli by se sobě rovnat na začátku a na konci rámce. Pokud tomu tak není došlo během přenosu k poškození rámce.
5. Potvrzení přijetí (ACK Check) – Mechanismus potvrzující, že všechny přijímače musí potvrdit každou příchozí zprávu hned od potvrzení od CRC. Jediné pozitivní potvrzení od přijímače stačí odesílateli, aby bylo potvrzeno přijetí zprávy. Pokud však odesílateli nedorazí ani jedno potvrzení, došlo k chybě potvrzení [18].

2.5 POLE DATOVÉHO PROTOKOLU

Zpráva je přenášena mezi jednotlivými řídicími jednotkami v krátkých časových intervalech. Skládá se z bitů, které jdou za sebou a od počtu bitů se odvíjí velikost datového pole. Datový protokol je shodný na obou vedeních sběrnice. Data jsou vyjádřena ve dvojkovém kódu a mají přesně stanovenou strukturu, která obsahuje sedm polí.

1. Počáteční pole (Start of Frame) – Úvodní jednobitové pole značí začátek datového protokolu.
2. Stavové pole (Arbitration Field) – Pole stanovující prioritu datového protokolu. Skládá se z identifikátoru a kontrolního bitu. V tomto poli kontroluje odesílající stanice jednotlivý bit po bitu, aby zjistil, zdali je oprávněna v odesílání dat pokračovat či nikoliv. Pokud tomu tak není, má přístup ke sběrnici stanice s vyšší prioritou.
3. Řídicí pole (Control Field) – Kód označující počet informací v datovém poli. Obsahuje bit „IDE“ (Identifier Extension Bit), ten rozlišuje standartní formát (IDE=0), nebo formát rozšířený (IDE=1). Po něm je jeden bit, který je pro případné prodloužení a následují 4 bity, které popisují počet datových bajtů v datovém poli. Díky tomu může příjemce ověřit, že přijal všechna data v pořádku.
4. Datové pole (Data Field) – Obsahuje přenášené informace důležité pro ostatní řídicí jednotky. Obsahuje maximálně 64 bitů, přičemž jedno zpráva může obsahovat více signálů. (např. teplota chladící kapaliny a otáčky motoru).
5. Kontrolní pole (CRC Field) – Kontrola přenesených dat fungující na základě rozdílu na začátku přenosu a na jeho konci. Ověřuje tím přenosové chyby.
6. Potvrzovací pole (ACKnowledgement Field) – Potvrzení příjemce, že převzal zprávu objektu, který tuto zprávu odeslal. Pokud se vyskytne ve zprávě chyba, okamžitě dochází k opětovnému zaslání zprávy.
7. Ukončovací pole (End of Frame) – Konec rámce složený ze sedmi bitů. Zde vysílač zkontroluje datový protokol, a pokud je vše v pořádku, potvrdí objektu správnost zprávy. Pokud ale zpráva není v pořádku, dochází k přerušení přenosu a zahájí se opakovaný přenos. Za těmito sedmi bity následují nejméně tři bity pro uklidnění vysílačů. Tato doba je využívána i k informacím o chybách v přenosu [3,12,17].

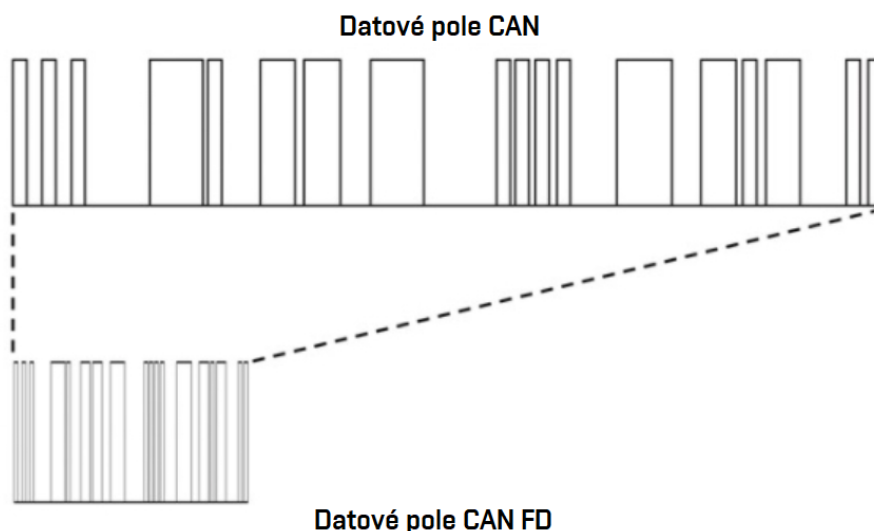


Obrázek 8 Struktura datového pole [3]

2.6 CAN FD

CAN FD je nejnovější verze protokolu CAN. Byl vydán v roce 2012 společností Bosch GmbH a následně vylepšen standardizací v roce 2015. Oproti CAN má několik výhod. Zprvu je to zvětšení datového pole z 8 bajtů až na 64 bajtů v jedné zprávě. To vede k lepší účinnosti protokolu. Druhá výhoda je zvýšená rychlost přenosu dat, která je proměnlivá, nejčastěji 5 Mb/s, případně až 8Mb/s. Další výhodou je lepší spolehlivost oproti klasickému CAN. CAN FD totiž používá vylepšenou kontrolu cyklické redundance (CRC). Pole CRC je dlouhé 17 nebo 21 bitů, podle počtu bajtů v rámci. Poslední výhodou je hladký přechod z CAN na CAN FD a obráceně. To výrazně snižuje náklady pro výrobce. Hlavním rozdílem oproti klasickému CAN jsou právě tyto výhody. Ostatní vlastnosti jako délka sběrnice 40 m nebo komunikace pomocí krouceného páru vodičů zůstávají stejné. Stejný je také protokol typu Multi-master, či použití topologie zapojení [19].

Už z názvu CAN FD, kde FD značí flexibilní data, je zřejmé že tento protokol může flexibilně měnit data. Elektronická řídicí jednotka (ECU) může dynamicky přepínat na různou rychlost přenosu dat s většími nebo menšími velikostmi zpráv. Vylepšené funkce CAN FD zahrnují schopnost dynamicky vybírat a přepínat na rychlejší nebo pomalejší datový tok podle potřeby a mohou zabalit více dat do stejného rámce [20].



Obrázek 9 Porovnání rychlosti přenosu dat CAN s CAN FD [20]

3 LIN (LOCAL INTERCONNECT NETWORK)

LIN je sériová asynchronní jednovodičová sběrnice. Byla navržena pro využití v automobilovém průmyslu, a to v roce 1998 skupinou LIN Consortium. Tato skupina vznikla z iniciativy BMW a Mercedes-Benz a později se k nim přidali automobilky Audi, Volvo a Volkswagen. Sběrnice nemá nahradit sběrnici CAN, ale pouze ji doplnit v aplikacích, kde je CAN zbytečně finančně nákladná. LIN je znatelně pomalejší než CAN, nicméně byla navržena zejména pro použití u jednodušších zařízení, pro které není klíčová rychlost přenosu. Využitelnost sběrnice je například u komunikace polohování zrcátek, polohování sedadel, či ovládání zámků a dalších. LIN zde propojuje akční členy, čidla a ovladače a díky tomu je také jednodušší dostupnost pro diagnostikování [21, 22].

3.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI

LIN je typem sběrnice single-master/multiple-slave. Tento typ obsahuje jedno řídicí zařízení, které kontroluje komunikaci s podřízenými zařízeními. Drátový AND je tvořen jednotlivými napojeními na jednovodičovou sběrnici. Maximální přenosová rychlost komunikace je až 20 kb/s. Hardwarové a softwarové prostředky běžného UART/SCI slouží jako radiče ke generování komunikace. Podřízeným „slave“ jednotkám stačí k činnosti například RC oscilátory, což je levnější než třeba krystalové generátory hodin nebo další zařízení. To se promítne v ceně komunikačních komponentů a celkové ceně jednotlivých zařízení. Synchronizace je totiž prováděná řídicím „master“ zařízením na počátku každé komunikace. Omezením je však použití pouze maximálně 16 jednotek na síti LIN. Obdobně jako u CAN je zapotřebí budič, který pracuje na napěťové úrovni 0 až 12 V. Udávaná maximální délka sběrnice je 40 m [21].

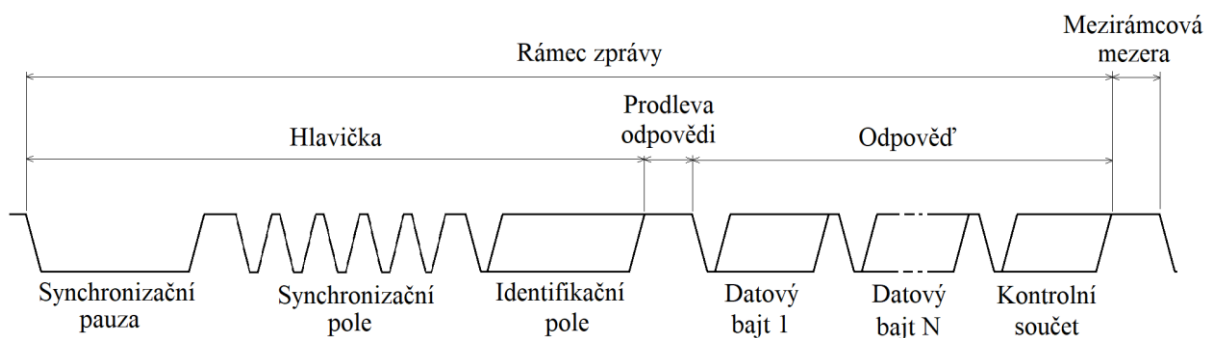
3.2 PRINCIP FUNKCE

Sběrnice LIN používá pro obousměrnou komunikaci pouze jeden vodič. To pomocí logického součinu (AND) prostřednictvím spínačů a rezistorů připojených na sběrnici v každém zařízení. Jsou zde definovány dva stavy a těmi jsou dominantní (log.0) a recesivní (log.1). Od palubního napětí v automobilu, které je generované 12 V akumulátorovou baterií, se odvíjí velikost a rozsah úrovní vysílače a přijímače. Při požadavku na sepnutí spínače spojují sběrnici se zemí. Jestli že je alespoň jeden sepnut, pak je sběrnice ve stavu dominant, který značí stav logické nuly. Rezistory o velikosti 30 k Ω , které jsou zapojené mezi sběrnici a napájecí napětí, udržují tento stav v případě přerušení dodávky napájecího napětí. Stav recessive nastane, když není ani jeden spínač sepnutý. Na zařízení typu master se připojuje ještě navíc rezistor o velikosti 1 k Ω , aby se s počtem připojených budičů razantně neměnil odpor. Jako ochrana se ke sběrnici LIN na vývod od budiče připojují paralelně kondenzátory, které mají za úkol pohlcovat elektromagnetické rušení [21].

3.3 RÁMEC ZPRÁVY

Na obr. 10 je znázorněn formát zprávy rámce, který LIN používá jednotný. Ten slouží k adresaci uzlů, synchronizaci a k výměně dat mezi nimi. Master začíná komunikaci, určuje

rychlost přenosu a také vysílá hlavičku rámce zprávy. Zbylé jednotky, včetně jednotky master mohou odeslat odpověď. Ta se skládá z datových bajtů a kontrolního součtu [21].



Obrázek 10 Formát rámce zprávy [21]

LIN rámec je složen ze dvou rámců, kterými jsou takzvaná hlavička (Header frame) a odpověď (Response frame).

Hlavička se skládá z:

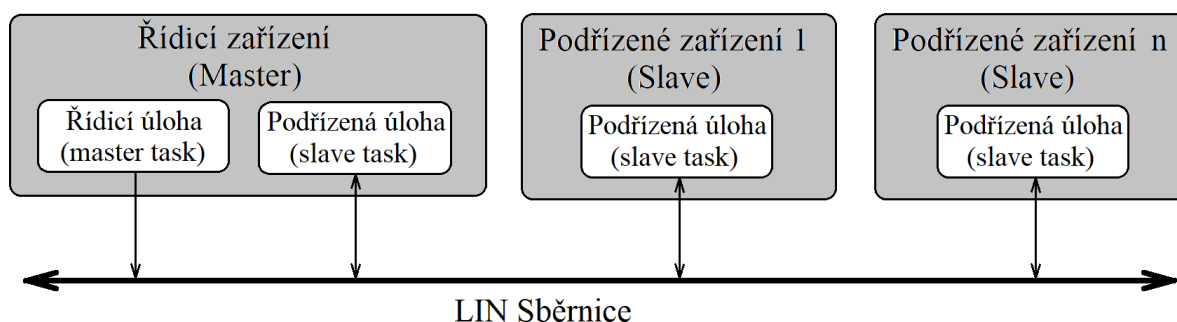
1. Synchronizační pauzy (Brake) – Přestávka obsahuje minimálně 13 bitů. Funguje jako upozornění „začátek rámce“ pro všechny uzly LIN na sběrnici.
2. Synchronizačního pole (Sync) – Je 8bitové pole a má předdefinovanou hodnotu 0x55, v binární podobě (01010101). Tato struktura umožňuje uzlům LIN určit čas mezi stoupajícími a klesajícími hranami. Tedy přenosovou rychlost používanou hlavním uzlem. Díky tomu může každý z nich zůstat synchronizovaný.
3. Identifikačního pole (Identifier) – Obsahuje 6 bitů doplněný dvěma paritními bity. ID funguje jako identifikátor pro každou odeslanou zprávu LIN. Nese v sobě informace o odesílateli, příjemci a délku datové části.

Odpověď se skládá z:

1. Datového rámce (Data) – Vlastní datová část obsahující 2 až 8 bajtů. Datové bajty obsahují skutečné informace, které jsou přenášeny ve formě LIN. Signály jsou zabaleny v datových bajtech a mohou obsahovat 1 nebo více bitů.
2. Kontrolního součtu (Checksum) – Pole kontrolního součtu zajišťuje platnost rámce LIN. Existují dva typy kontrolních součtů. Klasický 8bitový kontrolní součet založen na sčítání datových bajtů, nebo vylepšený algoritmus, který zahrnuje v kontrolním součtu také pole identifikátoru [23].

3.4 KOMUNIKAČNÍ STRUKTURA

Na obr. 11 je znázorněno uspořádání struktury z pohledu komunikace. Řídící úloha v řídicím zařízení určuje pomocí hlavičky veškeré dění na sběrnici. V hlavičce jsou obsaženy informace o tom, jaký druh komunikace bude následovat. Zbylé úlohy v podřízených zařízeních, včetně podřízené úlohy v řídicím zařízení tuto hlavičku sledují. Podle obsahu buď informaci přijímají nebo vysílají datovou část rámce [21].



Obrázek 11 Komunikační struktura sběrnice LIN [21]

LIN ŘÍDICÍ ZAŘÍZENÍ (MASTER):

„Řídí veškerou komunikaci na sběrnici:

1. Definuje přenosovou rychlost.
2. Vysílá synchronizační impuls, synchronizační pole, identifikátor.
3. Monitoruje a potvrzuje data pomocí kontrolního součtu.
4. Přepíná podřízené jednotky do sleep módu a znovu je probouzí.
5. Reaguje na signál probuzení od podřízených jednotek.“

LIN PODŘÍZENÉ ZAŘÍZENÍ (SLAVE):

„Na sběrnici může být připojeno až 16 podřízených zařízení. Řídicí jednotka též obsahuje podřízenou úlohu (slave task) jako ostatní podřízená zařízení (slaves). Podřízené zařízení má na starosti:

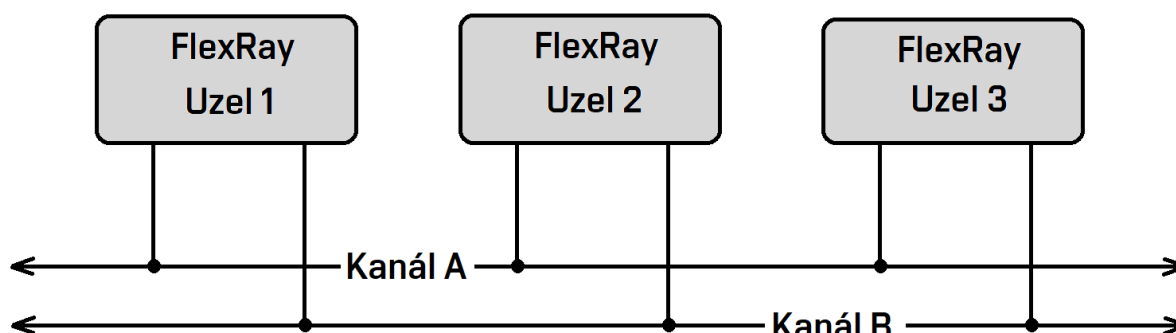
1. Čekání na synchronizační impuls.
2. Synchronizuje se podle synchronizačního pole.
3. Podle identifikátoru dělá jednu z následujících činností:
 - Nereaguje.
 - Přijímá data.
 - Vysílá data.
 - Kontroluje nebo posílá kontrolní součet.“ [21]

4 FLEXRAY

Sběrnice FlexRay vznikla jako řešení požadavku vysoké spolehlivosti a bezpečnosti. Hlavní využití této sběrnice je zejména u zařízení zvyšující aktivní bezpečnost. Protože CAN sběrnice nemohla splnit náročné požadavky na odolnost vůči chybám, začali někteří výrobci automobilů již v 90. letech experimentovat s komunikačními technologiemi odolnými vůči chybám a vůči rychlosti přenosu dat. Nicméně tyto studie nepřinesly žádné komunikační technologie, které by mohly splnit všechny požadavky. Proto se v roce 1999 spojily společnosti BMW a DaimlerChrysler a začaly spolupracovat na urychlení specifikace. Následně se tito dva výrobci automobilů spojili se dvěma výrobci čipů Motorola a Philips. Cílem tohoto sdružení bylo vyvinout komunikační standard FlexRay a následně ho užívat bez licenčních poplatků pro členy sdružení. V roce 2010 zveřejnilo verzi 3.0.1 specifikace a začalo ji převádět na normu ISO. V současné době je k dispozici ISO 17458 [24].

4.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI

Sběrnice FlexRay tvoří dva nezávislé komunikační kanály, aby se minimalizovalo riziko selhání sběrnice. Každý z nich má maximální rychlost přenosu až 10 Mb/s. Ke zvýšení rychlosti lze tyto dva kanály spojit a zvýšit přenosovou rychlost na 20 Mb/s. Kanály se označují jako A a B, přičemž kanál B je jako záložní, kdyby kanál A selhal. Na konci sběrnice jsou zakončovací odpory o velikosti 80 až 110 Ω , které mají za úkol pohlcovat odrazy signálů. Maximální vzdálenost mezi uzly se udává až 24 metrů a datové pole jedné zprávy má velikost až 254 bajtů. Jedná se zde o sériový přenos po dvou vodičové sběrnici. Dle specifikace FlexRay by nemělo být k lince připojeno víc než 22 uzlů FlexRay. Výhodou této sběrnice je mnoho způsobů přenosu dat. Na obrázku č. 12 je znázorněná komunikační struktura, kde jsou uzly FlexRay napojené na kanály [25].



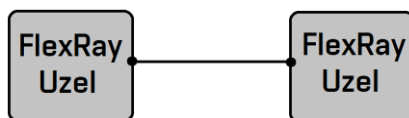
Obrázek 12 Komunikační struktura FlexRay [24]

4.2 DRUHY TOPOLOGIE

Komunikace FlexRay není omezena na žádnou konkrétní topologii. Jednoduché spojení Bod-bod je stejně proveditelné jako sběrnice topologie nebo hvězdicové topologie. V praxi se používá také kombinace těchto topologií [24].

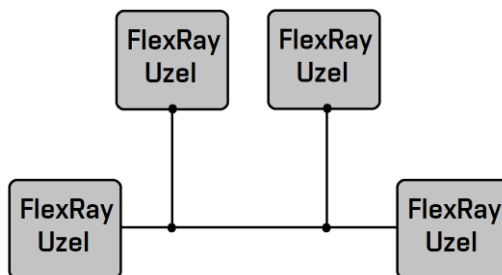
Základní čtyři druhy topologie:

- Bod-bod



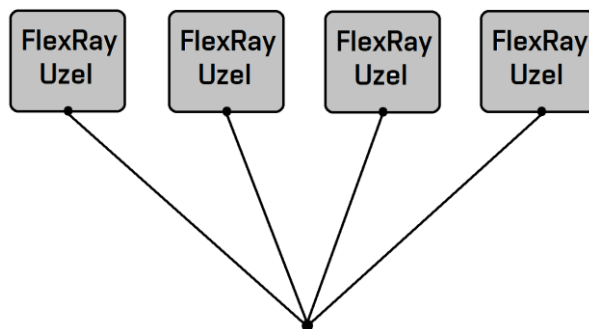
Obrázek 13 Topologie Bod-bod [24]

- Sběrníková



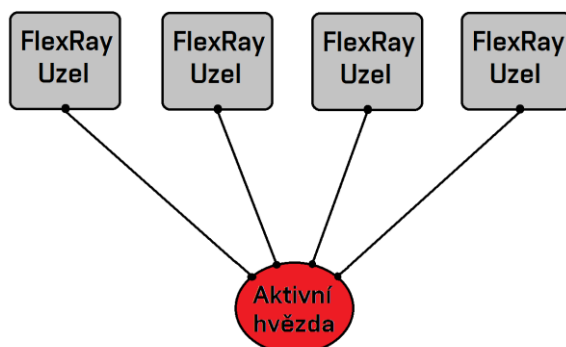
Obrázek 14 Sběrníková topologie [24]

- Pasivní hvězda



Obrázek 15 Topologie pasivní hvězda [24]

- Aktivní hvězda



Obrázek 16 Topologie aktivní hvězda [24]

4.3 KOMUNIKAČNÍ CYKLUS

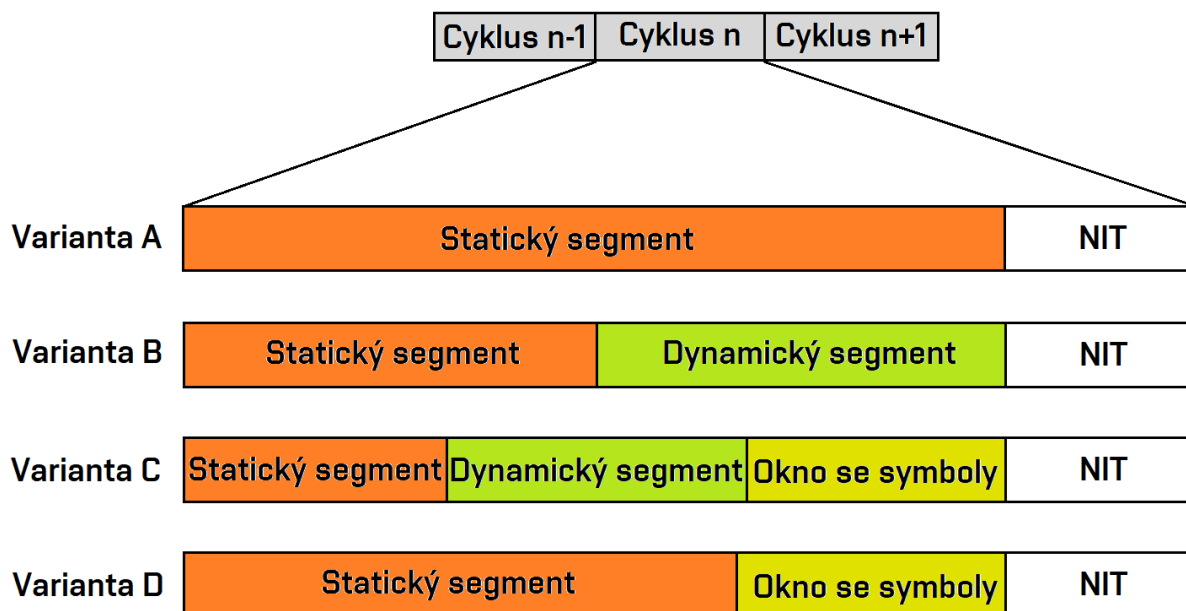
Datová komunikace FlexRay je periodická a je založena na plánu. Komunikační cyklus se skládá z alespoň dvou časových segmentů, statického segmentu a segmentu doby nečinnosti sítě (NIT-Network Idle Time). Během segmentu NIT nedochází k žádné datové komunikaci. Volitelně lze komunikační cyklus rozšířit přidáním dynamického časového segmentu a okna se symboly. Protože pro cyklus je povinný pouze statický segment a segment NIT, lze rozlišit čtyři varianty cyklu. Obrázek č. 17. Komunikační cyklus zobrazuje cyklus, který obsahuje všechny možné časové segmenty, statický segment, dynamický segment, okno se symboly a NIT. Jednotlivé segmenty se dělí na sloty [24].

Statický segment:

- Povinný,
- konstantní délka komunikačního slotu,
- počet slotů a jejich délka jsou konstantami,
- v jednom statickém slotu je vysílán jeden rámeček stanice,
- na obou kanálech A, B je přidělen stejný slot ve stejný čas.

Dynamický segment:

- Volitelný,
- proměnná délka komunikačního slotu,
- komunikace na kanálech A, B jedné stanice není na sobě závislá,
- stanice může vysílat na kanál A, B v jiném čase v rámci jednoho segmentu [26].



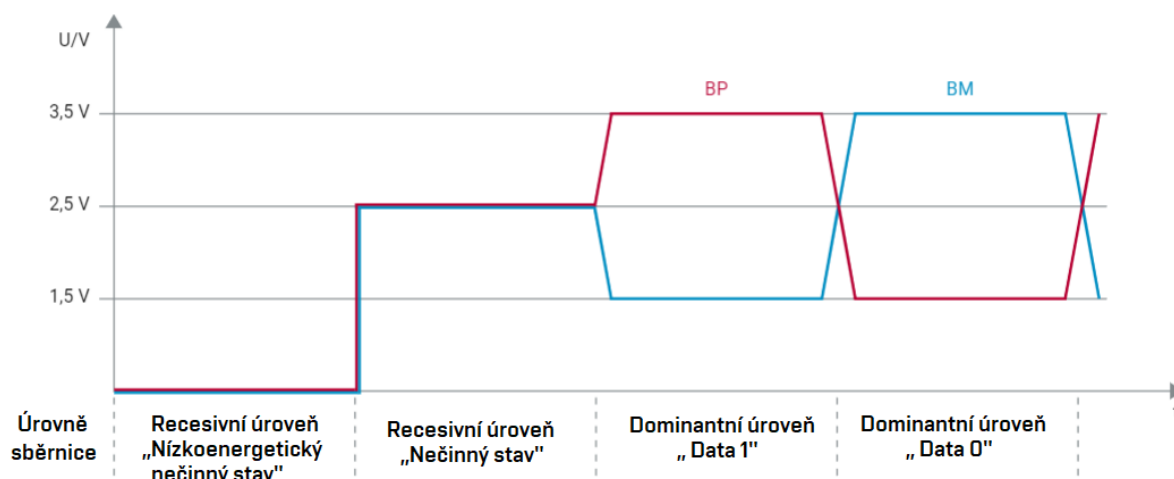
Obrázek 17 Komunikační cyklus FlexRay [24]

4.4 FYZICKÝ PŘENOS

Fyzický přenos ve FlexRay je založen na přenosu napěťových rozdílů. Proto se přenosové médium (sběrnice FlexRay) skládá ze dvou linek, kladné Bus Plus (BP) a záporné Bus Míus (BM). Zkroucením těchto dvou linek se snižuje magnetické pole, proto se v praxi obvykle používají kroucené páry vedení – z nákladových důvodů obvykle bez stínění.

Specifikace elektrické fyzické vrstvy definuje čtyři úrovně sběrnice, které jsou přiřazeny buď recesivnímu nebo dominantnímu stavu sběrnice. Stav recesivní sběrnice je charakterizován rozdílem napětí 0 V. Dominantní stav sběrnice má napětí které se naopak nerovná 0 V. Na obrázku č.17., „Fyzický přenos FlexRay“ jsou znázorněny již zmiňované čtyři úrovně.

- Když jsou všechny vysílače/přijímače FlexRay v režimu nízké spotřeby, na sběrnici se zobrazí úroveň Nízkoenergetické nečinnosti. Tato úroveň je také charakterizována diferenciálním napětím 0 V. Platný rozsah je zde mezi -0,2 V a 0,2 V.
- Pokud je napětí 2,5V a diferenciální napětí 0 V jedná se o Nečinný stav. Platný rozsah je zde 1,8 až 3,2 V.
- Úroveň sběrnice Data 1 je napětí na lince BP 3,5V na lince BM je napětí 1,5 V. Výsledné rozdílové napětí je 2 V. Úroveň sběrnice Data 1 představuje logickou jedničku.
- Na úrovni sběrnice Data 0 je napětí na lince BP 1,5V a na lince BM 3,5 V. Výsledné rozdílové napětí je -2 V. Úroveň sběrnice Data 0 představuje logickou nulu [25].



Obrázek 18 Fyzický přenos FlexRay [24]

4.5 RÁMEC ZPRÁVY

Datový rámec se skládá ze tří částí, hlavičky, datového pole a CRC pole. Podrobnější znázornění je zobrazeno na obrázku č. 19.

- Hlavička

Je složena ze 40 bitů. První jeden bit je rezervovaný bit. Další čtyři jsou indikátorové bity, které slouží k přesnější specifikaci zprávy. Indikátor užitečné zátěže indikuje, zda se vektor zprávy sítě přenáší v užitečném obsahu statické zprávy, nebo zda se přenáší identifikátor zprávy v užitečném obsahu dynamické zprávy. Indikátor nulového rámce slouží k označení, zda je užitečné zatížení pravidelné nebo neplatné. Indikátor synchronizačního rámce označuje, zda

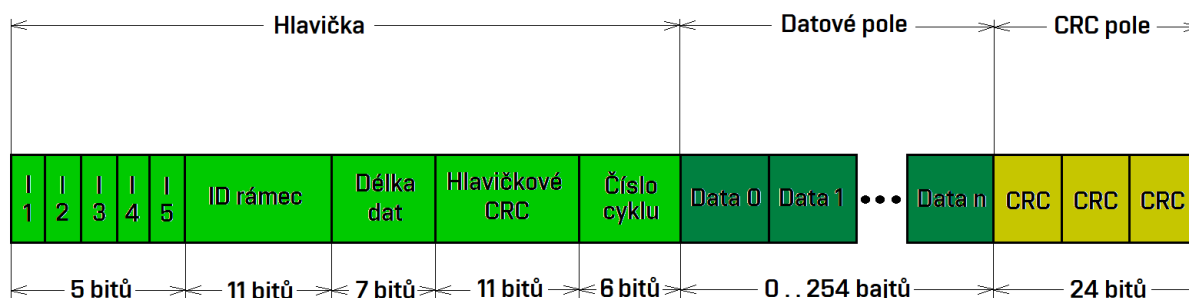
jsou zprávy přenášené ve statickém segmentu používány jako synchronizační rámce v kontextu synchronizace. Indikátor startovacího rámce označuje, zda se zpráva přenášená ve statickém segmentu používá jako spouštěcí rámec v kontextu spouštění. Dalších 11 bitů obsahuje identifikátor, který identifikuje zprávu a odpovídá slotu. Všechna ID mohou být použita volně, kromě jednoho ID který se používá k identifikaci neplatných zpráv. Za identifikátorem následuje délka užitečného zatížení, které se skládá ze 7 bitů. Za délkou užitečného zatížení následuje jedenáctibitové hlavičkové CRC, které chrání identifikátor. Výpočet je založen na identifikátoru, délce užitečného zatížení, synchronizačního rámce a indikátoru startovacího rámce. Hlavička je doplněna číslem cyklu. Ten zahrnuje 6 bitů a představuje číslo cyklu ve kterém je zpráva odeslána.

- Datové pole

Obsahuje přenášené informace a jednou zprávou lze přepravit maximálně 254 bajtů. Délka užitečného zatížení vykazuje stejnou hodnotu pro všechny zprávy přenášené ve statickém segmentu. Vzhledem k tomu, že dynamické zprávy nejsou omezeny na pevnou velikost užitečného obsahu, může délka užitečného obsahu pro takové zprávy nabývat různých hodnot. Změnou identifikátoru se může měnit specifikace přenosu zpráv.

- CRC pole

K ochraně datového pole se využívá metoda CRC, které se skládá z 24 bitů. Jedná se o velmi účinnou metodu detekce chyb. Pro kontrolu je CRC pole propojeno s hlavičkovým CRC. Sekvence CRC počítá hlavičku a datové pole. Příjemce zprávy dokáže detekovat jakoukoli chybu přenosu s velmi vysokou spolehlivostí [24, 25].

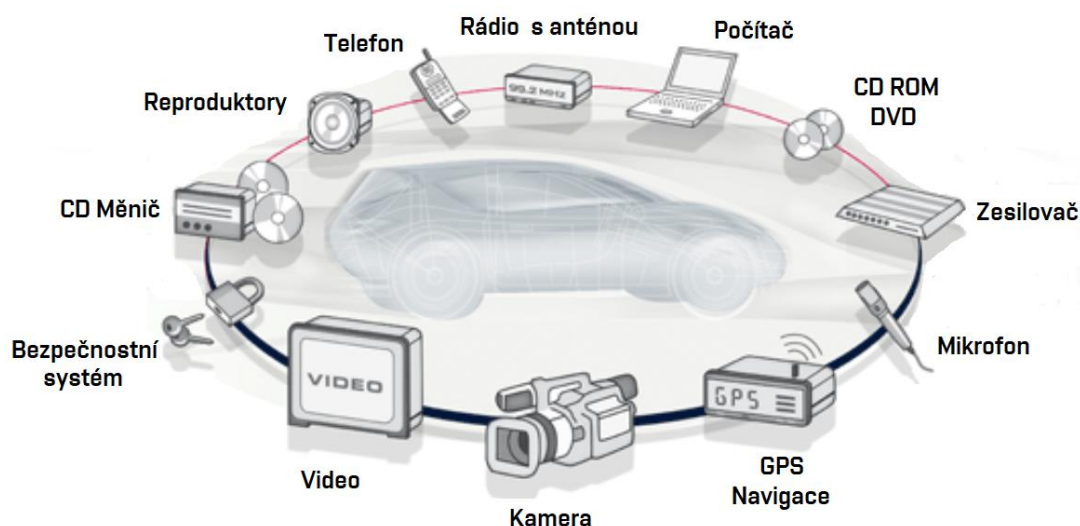


- I1 - Rezervovaný bit
- I2 - Indikátor užitečné zátěže
- I3 - Indikátor nulového rámce
- I4 - Indikátor Synchronizačního rámce
- I5 - Indikátor startovního rámce

Obrázek 19 Rámec zprávy FlexRay [24]

5 MOST (MEDIA ORIENTED SYSTEM TRANSPORT)

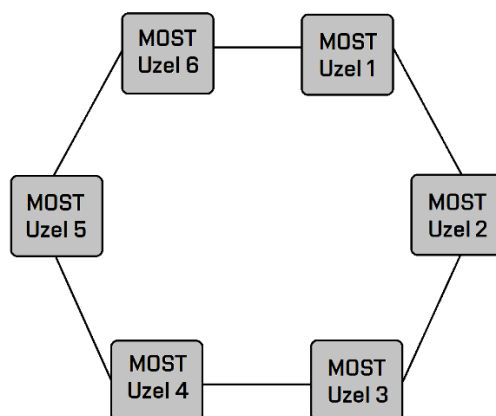
Sériová sběrnice MOST byla vyvinuta koncem 90. let automobilkami BMW a Mercedes Benz pro multimediální přenosy v automobilu. MOST byl navržen pro vysokou kvalitu a nákladově efektivní přepravu zvuku a videa. Mezi moderní systémy vozidel patří rádio, přehrávač CD / DVD, televize, mobilní výpočetní systémy a systémy navádění k cíli. Bitové rychlosti této sběrnice jsou mnohem vyšší než u předchozích sběrnic, a tím se zvyšuje citlivost na rušení elektromagnetickým šumem [27].



Obrázek 20 Přístroje připojené ke sběrnici MOST [27]

5.1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI

V síti MOST je jedno zařízení, které má roli Timing Master, to nepřetržitě přivádí MOST rámce do kruhu a ostatní zařízení se mohou průběžně připojovat. Podporuje na sběrnici maximálně 64 zařízení. Maximální přenosová rychlost je až 150 Mb/s, což je potřebné při přenosu většího objemu dat u multimediálních systémů. Pro přenos se používají optická vlákna, nebo kroucené vodiče. U optických vláken je nevýhodou to, že jsou velmi náchylné na mechanické poškození. Výhodou je naopak to, že umožňuje přenos dat na dlouhé vzdálenosti. Typická topologie zapojení sběrnice je do kruhu, jak je znázorněno na obrázku č. 21 [28].



Obrázek 21 Topologie zapojení do kruhu [28]

5.2 DRUHY :

- MOST25

Nejstarším standardem je standard MOST25. Podporuje přenos dat pouze pomocí optických vláken a dokáže přenést až 15 zvukových kanálů. Na přenos dat může použít pouze 11 až 32 bajtů v jedné zprávě. A jeho maximální přenosová rychlost je 25 Mb/s.

- MOST50

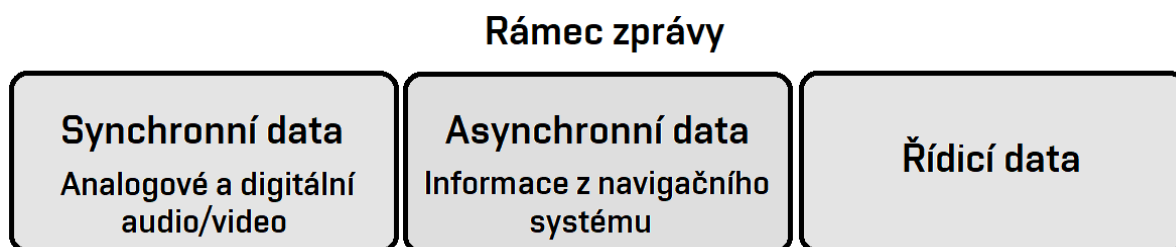
Druhým standardem je MOST50, který zdvojnásobuje rychlost přenosu na 50 Mb/s a zvětšuje velikost přenesených dat až na 128 bajtů. Má stejně jako MOST25 tři kanály, první kanál řídicích zpráv, druhý kanál datových proudů a jako třetí je kanál datových paketů. Liší se však od předchozího protokolu flexibilními synchronními a asynchronními kanály. Tento protokol podporuje přenos jak pomocí optických vláken, tak i pomocí elektrických vodičů [29].

- MOST150

Nejnovější implementací standardu MOST je MOST150. Tento standard má pět druhů komunikačních kanálů. První pro řízení ECU, druhý pro paketová data (např. Navigační grafika), třetí pro synchronní přenos více zvukových toků, čtvrtý pro synchronní streamování videa a poslední ethernetový kanál pro propojení s aplikacemi internetového protokolu. Tento protokol má přenosovou rychlost až 150 Mb/s a velikost přenesených dat až 384 bajtů. Podporuje přenos dat jak pomocí optického vlákna tak pomocí zkroucených vodičů. Je to nejnovější typ protokolu a také v automobilech nejpoužívanější [29,30].

5.3 RÁMEC ZPRÁVY

Datový rámec se skládá ze synchronních, asynchronních a řídicích dat. Synchronní kanály poskytují zaručenou šířku pásma bez nutnosti ukládání do paměti. Asynchronní šířku pásma zajišťují asynchronní kanály, které poskytují variabilní šířku pásma, s dalšími vyhrazenými řídicími kanály v reálném čase. Mezi synchronní data patří například analogové a digitální audio/video a mezi asynchronní data patří například informace z navigačního systému [31].



Obrázek 22 Rámec zprávy MOST [31]

6 ETHERNET

Ethernet je počítačová síťová technologie používaná v různých oblastech. V posledních letech byla vyvinuta celá řada systémů pro motorová vozidla, jejichž cílem je zajistit pohodlnější, bezpečnější a ekologičtější jízdu. Funkce těchto systémů jsou stále častěji realizovány pomocí elektronických součástí, které mají rostoucí nároky na výměny informací. Mezi tyto elektronické komponenty patří řídicí jednotky i stále výkonnější senzory a akční členy. Kromě klasických požadavků na řízení rostou také požadavky na multimédia a infotainment ve vozidlech. Již nyní existuje široká škála audio a video systémů, které jsou určeny k pobavení uživatelů vozidel. Připojení chytrých telefonů nebo jiných zařízení kompatibilních s internetem je již součástí mnoha vozidel [32].

Souběžně s vývojem motorového vozidla se Ethernet v posledních několika desetiletích zaváděl jako flexibilní a škálovatelná síťová technologie. Jednou ze silných stránek Ethernetu je to, že podporuje velké množství fyzických médií, která také umožňují jeho použití v motorových vozidlech. Jelikož fyzická média jsou nezávislá na protokolu, lze snadno vyvinout a přizpůsobit další přenosové technologie a přizpůsobit je požadavkům automobilového průmyslu. Je také možné dlouhodobé použití těchto médií na budoucích platformách vozidel. Implementace automobilového ethernetu dokáže uspokojit velkou šířku pásma dat v reálném čase a zajistit bezproblémové fungování systémů ve vozidle [32].

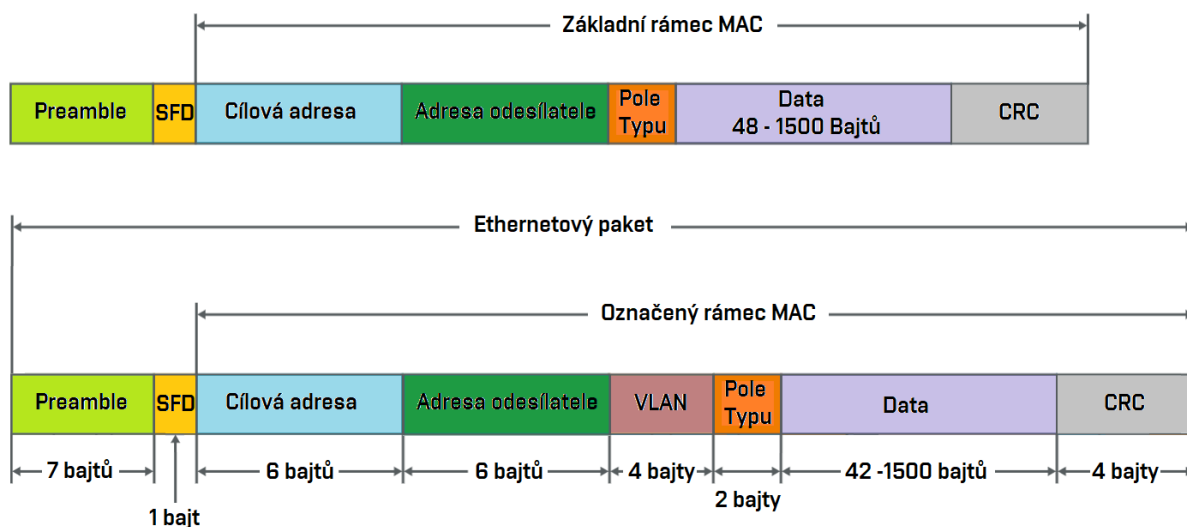
6.1 RÁMEC ZPRÁVY

Ethernetové rámce jsou definovány ve specifikacích IEEE. Automobilový průmysl obvykle používá rámec Ethernet II, který může také obsahovat informace pro VLAN. Z tohoto důvodu se rozlišuje mezi základním rámcem MAC (bez VLAN) a označeným rámcem MAC (včetně VLAN), které jsou znázorněny na obrázku č. 23 [32].

Rámec Ethernet II obvykle začíná adresou odesílatele, nebo cílovou adresou. To definuje, který z účastníků sítě by měl obdržet zprávu. U ethernetového rámce může existovat vždy pouze jeden odesílatel a několik příjemců. Rozdíl mezi základním a označeným rámcem MAC se provádí pomocí pole Typu. Toto pole identifikuje paket obsažený v oblasti uživatelských dat a poskytuje informace o protokolech použitých ve vyšších vrstvách (např. IPv6). Pokud je zde zahrnut identifikátor VLAN, je pole Typu posunuto o čtyři bajty [32].

VLAN se skládá z identifikátoru protokolu (TPID) a řídicích informací (TCI). Zatímco TPID obsahuje hodnotu identifikátoru VLAN z pole původního typu, TCI se skládá z priority, indikátoru a identifikátoru. V automobilovém průmyslu se používají hlavně identifikátory a priorit. Identifikátor identifikuje příslušnou virtuální síť pro různé oblasti použití. Priorita umožňuje optimalizaci doby běhu přepínače, takže důležité informace jsou předávány přednostně [32].

Datové pole má minimální délku 46 bajtů, nebo 42 bajtů s VLAN. V automobilovém průmyslu může být obsaženo maximálně 1 500 bajtů. Kontrolní součet CRC se přenáší na konci rámce. Obsažená hodnota se vypočítá pomocí standardizovaného algoritmu, který je implementován stejným způsobem ve vysílači i přijímači. Výpočet probíhá se všemi poli rámce Ethernet II, a proto zajišťuje celou zprávu. Pro přenos rámce přidává řadič Ethernet na začátku preambuli a oddělovač počátečního rámce (SFD). Slouží k signalizaci začátku přenosu. Kombinace preambule, oddělovače počátečního rámce a rámce Ethernet II se nazývá ethernetový paket [32].



Obrázek 23 Rámec zprávy Ethernet [32]

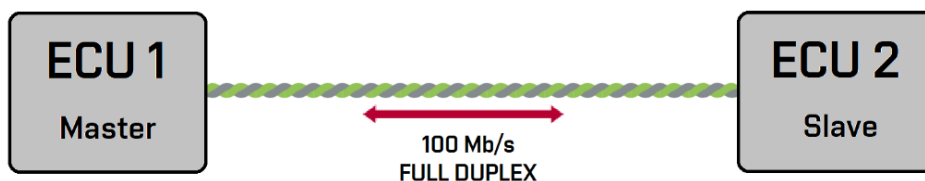
6.2 TYPY ETHERNETU

- BroadR-Reach

Je první standard, který je navržený pro použití v automobilovém průmyslu a je založený na fyzické vrstvě Ethernetu. Přes kroucený pár vodičů umožňuje více systémům ve vozidle přístup k informacím. Realizuje současně operace vysílání a přijímání dat a je tedy plně duplexní. Nahrazuje ji verze IEEE 100BASE-T1 [33].

- IEEE 100BASE-T1

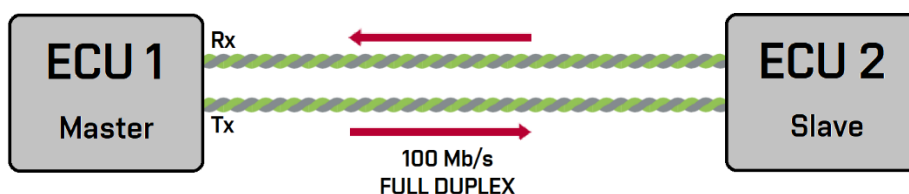
Je technologie fyzického přenosu, která byla původně vyvinuta Broadcomem a standardizována jako IEEE 100BASE-T1. Pro fyzické připojení se používá zkroucené dvou vodičové vedení, na které se pro přenos informací přivádí symetrické rozdílové napětí. Napětí představují symboly, které vysílač generuje (kóduje) podle požadovaného bitového proudu. Přijímač zase použije výsledný proud symbolů k obnovení (dekódování) bitů, které obsahuje. Jako topologie je k dispozici pouze připojení typu point-to-point. Na této fyzické vrstvě je obzvláště atraktivní to, že informace lze přenášet obousměrně na dvojici vodičů rychlostí 100 Mb/s. Dva propojené uzly mohou odesílat a přijímat současně (plný duplex). Vysílač přidává své vlastní rozdílové napětí ke dvěma vodičům, zatímco přijímač odečítá své vlastní napětí od celkového přítomného napětí. Výsledek odečtení odpovídá napětí, které bylo odesláno druhou stranou. Tento mechanismus je součástí procedury zrušení ozvěny, která se používá také u jiných ethernetových technologií. Aby bylo možné počítat nebo odečítat rozdílová napětí, musí dva uzly vědět, kdy začíná nový symbol. To znamená, že oba uzly musí být synchronizovány s proudem symbolů. To se provádí pomocí nadřazeného a podřazeného uzlu. Master generuje nepřetržitý proud symbolů, se kterými se slave synchronizuje [32].



Obrázek 24 IEEE 100BASE-T1 [32]

- IEEE 100BASE-TX

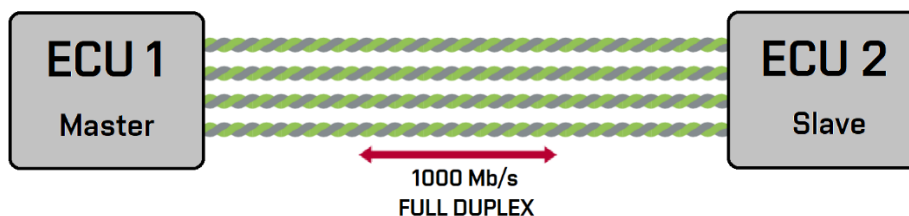
Tento standard obvykle vyžaduje dva kanály, každý se dvěma zkroucenými dráty. Dvojice vodičů se používají k přenosu symetrických rozdílových napětí, která představují dříve kódované symboly. Podobně jako IEEE 100BASE-T1 vysílač kóduje symboly na základě požadovaného bitového proudu. Přijímač dekóduje proud symbolů a tak obnoví odeslané bity. K lince jsou obvykle připojeny pouze dva uzly v topologii typu point-to-point. Více než dva uzly lze připojit pomocí spojovacího prvku. K připojení se obvykle používá přepínač. Pokud je IEEE 100BASE-TX provozován se dvěma kanály, lze informace přenášet obousměrně rychlostí 100 Mb/s. Jeden kanál pro odesílání (Tx) a druhý kanál pro příjem (Rx) [32].



Obrázek 25 IEEE 100BASE-TX [32]

- IEEE 1000BASE-T

IEEE 1000BASE-T vyžaduje čtyři kanály pro fyzické připojení, z nichž každá má dva zkroucené vodiče. Dvojice vodičů se používají k přenosu symetrických rozdílových napětí, která představují dříve kódované symboly. Také zde jsou připojeny minimálně dva uzly v topologii typu point-to-point a další uzly lze připojit pomocí přepínače. Dva vzájemně propojené uzly mohou vysílat a přijímat současně na čtyřech kanálech (plný duplex). Maximální přenosová rychlost je až 1000 Mb/s [32].



Obrázek 26 IEEE 1000BASE-T [32]

- EtherCAT

EtherCAT (Ethernet For Control Automation Technology) je postavený na fyzické vrstvě Ethernetu a byl vyvinut společností Beckhoff v roce 2003. Nyní je řízen Ethercat Technology Group (ETG). Při vývoji byl hlavní důraz kladen na krátké doby cyklu, nízké chvění pro přesnou synchronizaci a nízké náklady. EtherCAT protokol používá technologii pro

komunikaci typu Master-Slave. Jedinečnou vlastností EtherCATu je to, že síťoví Slave mohou číst nebo extrahovat pouze relevantní informace, které potřebují a mohou přidat data do zprávy před tím než přejde k dalšímu Slave. Zpráva prochází všemi připojenými podřízenými jednotkami a poté se vrací k Masteru. EtherCAT je prakticky neomezený pokud jde o topologii zapojení, nepotřebuje rozbočovače ani přepínače. Díky detekci spojení mohou být uzly a síťové segmenty během provozu odpojeny a poté znovu připojeny. V automobilovém průmyslu lze využít u automaticky vedených vozidel. Používá se například u automaticky vedených výzkumných vozidlech NASA [34, 35].

6.3 PROTOKOLY

Ethernet používá číselné IP adresy, které slouží k rozlišení připojených zařízení. V automobilovém průmyslu se užívají protokoly IPv4 a IPv6. Protokol IPv4 poskytuje 32bitové IP adresy, které však byly již vyčerpány a proto vznikl IPv6. Ten má za úkol doplnit a případně nahradit předchozí protokol. Využívá 128bitové internetové adresy, což je o 96 bitů víc než IPv4 [32].

Pro doplnění existuje celá řada dalších protokolů. Například DHCP je protokol konfigurace dynamického hostitele. Je schopen dynamicky přiřadit adresy IP jednomu nebo více uzlům. Díky tomu je možné integrovat nový uzel IP do stávající sítě, aniž byste jej museli konfigurovat ručně. A třeba protokol ICMP (Internet Control Message Protocol) se používá pro kontrolní úkoly [32].

7 POROVNÁNÍ SBĚRNIC

V této kapitole se věnuji porovnání jednotlivých sběrnic. Jejich základní vlastnosti jsou přehledně shrnuty do tabulky, tak aby bylo jasné patrné, v jakých parametrech se od sebe liší.

U sběrnice CAN vidíme, že maximální rychlost je až 1 Mb/s při velikosti datového pole až 8 bajtů v jedné zprávě. Data se přenášejí pomocí krouceného páru vodičů a topologie zapojení je sběrnice. CAN má 15bitovou CRC detekci chyb a má široké využití, například u hnacího ústrojí. Jeho první použití se datuje do roku 1986 a je tak první použitou sběrnicí v automobilech. Předepsaný maximální počet připojených uzlů je 32 a délka sběrnice může být až 40 metrů. Používá protokol typu Multi-master a z hlediska ceny je jednou z levnějších sběrnic.

CAN FD má většinu vlastností stejných jako klasický CAN, avšak liší se například rychlostí přenosu, kterou má až 8 Mb/s a velikostí datového pole až 64 bajtů. Rozdílnou má také detekci chyb, která je rozšířená na 17 nebo až 21 bitů CRC, a liší se také cenou která je o něco vyšší než u CAN.

U sběrnice LIN je na první pohled vidět zdaleka nejnižší rychlost přenosu, která je 0,02 Mb/s, ale naopak velkou výhodou je cena, která je nejnižší ze všech sběrnic. První použití této sběrnice bylo roku 1998. Pro přenos používá pouze jeden vodič také v topologii zapojení do sběrnice jako předchozí dva typy sběrnic. Velikost datového pole je stejná jako u CAN 8 bajtů a taktéž délka sběrnice je shodná, tedy 40 m. Maximální počet připojených uzlů na sběrnici je pouze 16 a používá kombinaci Master/slave. Jako detekci chyb využívá 8bitový CRC kód a její využití je pro jednodušší systémy, zejména třeba pro ovládání sedadel či jiných zařízení zahrnující komfort.

Sběrnice FlexRay má maximální přenosovou rychlost až 10 Mb/s a k přenesení dat používá taktéž kroucený pár vodičů jako sběrnice CAN. Oproti předchozím zmiňovaným sběrnicím má datové pole zprávy velikost až 254 bajtů a má taky různé druhy topologie zapojení. Pro detekci chyb využívá 24bitový CRC které přispívá vyšší bezpečnosti přenosu dat. Z toho plyne využití této sběrnice zejména u zařízení kde je požadovaná vysoká bezpečnost přenosu. Poprvé byla tato sběrnice použita roku 1999 a používá protokol typu Multidrop bus. Maximální počet připojených uzlů na tuto sběrnici je omezen na 22 a dosahuje délka až 24 metrů. Nevýhodou této sběrnice je bezpochyby její cena, která je vyšší než již zmiňované sběrnice.

MOST je sběrnice která používá primárně optické vlákno k přenosu dat v topologii zapojení do kruhu, což není zrovna optimální v automobilu. Maximální přenosová rychlost je až 150 Mb/s, a je tedy výrazně rychlejší než všechny předchozí sběrnice. Velikost přenesených dat v jedné zprávě je až 384 bajtů a na sběrnici může být připojeno až 64 uzlů. Díky optickému vláknu je délka sběrnice mnoha násobně vyšší než u všech ostatních sběrnic, udávaná délka pro automobily je až 1280 metrů. Jako protokol používá taktéž jako CAN typ Multi-master. Používá se od roku 1998 a jeho hlavním zaměřením je audio právě z důvodu přenosu dat optickým vláknem. Jeho cena se však bohužel také díky optickým vláknům řadí mezi dražší sběrnice.

Sběrnice Ethernet může mít jednoznačně nejvyšší přenosovou rychlost sahající až k 1000 Mb/s. Velikost přenesených dat je až 1500 bajtů v jedné zprávě a pro přenos používá zejména kroucené vodiče. Topologií zapojení může být hned několik a jako detekci chyb využívá Ethernet rovněž jako jiné sběrnice CRC, ale o velikosti 32 bitů. Omezený je délkou sběrnice na 15 metrů, naopak téměř neomezený je počtem připojených uzlů. Používá různé protokoly ke

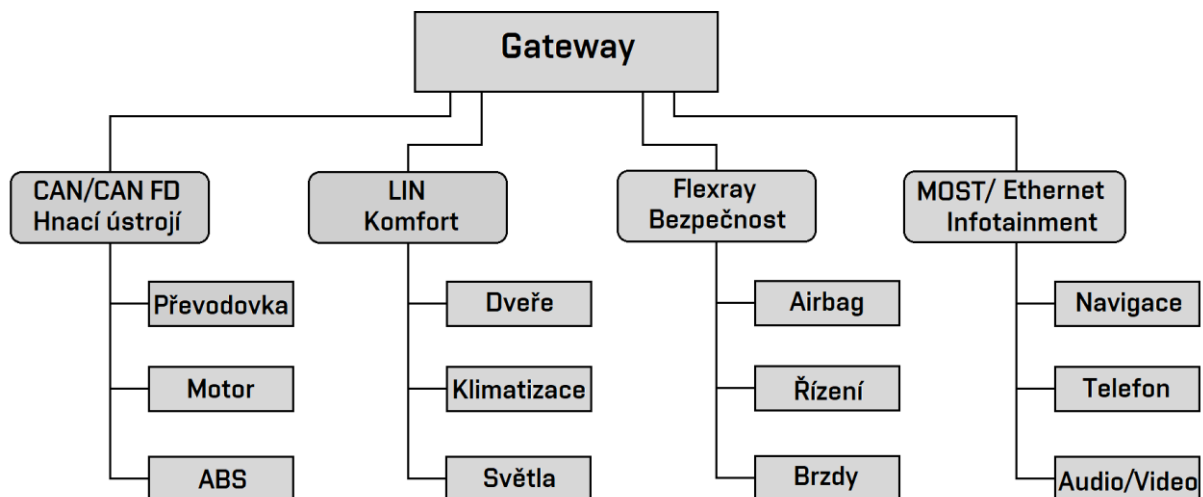
komunikaci. Poprvé byl ve vozidle použit v roce 2011. Jeho cena spadá k průměrným cenám sběrnic a primárně se využívá ke komunikaci kamer či jiných zařízení infotainmentu, kde je důležitá rychlost přenosu.

Tabulka 1 Porovnání sběrnic [18]

	CAN	CAN FD	LIN	FlexRay	MOST	Ethernet
Maximální rychlost	1 Mb/s	8 Mb/s	0,02 Mb/s	10 Mb/s	150 Mb/s	1000 Mb/s
Kabeláž	Kroucený pár	Kroucený pár	Jeden vodič	Kroucený pár	Optické vlákno	Kroucené vodiče
Velikost dat	8 B	64 B	8 B	254 B	384 B	1500 B
Typická topologie	Sběrnice	Sběrnice	Sběrnice	Sběrnice, Hvězda	Kruh	Bod-bod, Hvězda
Detekce chyb	15 bit CRC	17 nebo 21 bit CRC	8 bit CRC	24 bit CRC	CRC	32 bit CRC
Hlavní použití	Hnací ústrojí	Podvozek	Komfort	Bezpečnost	Audio	Infotainment
Cena	●●	●●●	●	●●●	●●●	●●
První použití	1986	2015	1998	1999	1998	2011
Maximální počet uzlů	32	32	16	22	64	Téměř neomezený
Délka sběrnice	40 m	40 m	40 m	24 m	1280 m	15 m
Typ protokolu	Multi-master	Multi-master	Master/slave	Multidrop bus	Multi-Master	Různý

7.1 PŘÍKLAD POUŽITÍ SBĚRNIC V AUTOMOBILU

Pro názornost uvádím příklad použití datových sběrnic v automobilu, včetně jednoduchého schématu použití jednotlivých sběrnic. Jednotlivé sběrnice se mohou využívat k různému účelu použití. Zde je znázorněno jejich typické zapojení, ale například CAN je u řady vozidel využíváno v různých systémech a naopak například MOST nebývá tak často využíváný a má použití zejména u audia v automobilu. Gateway je centrální řídicí jednotka do které vedou jednotlivé sběrnice. Sběrnice propojují řídicí jednotky, snímače atd ve vozidle a vedou do Gateway. Jak je znázorněno ve schématu jsou sběrnice CAN využívány například pro propojení řídicích jednotek motoru, převodovky a dalších. Využití CAN FD je obdobné jako u CAN, s tím že například CAN FD se používá ke komunikaci Gateway s diagnostickou zásuvkou, díky svému rychlému přenosu dat. LIN se používá zejména pro jednodušší komunikaci, například k propojení zamykání dveří, či na elektricky ovládaná okénka. LIN se také používá jako pod větev ústící z CAN větve, právě třeba u dveří nebo k propojení některých snímačů a podobně. Flexray je využívána pro propojení řídicích jednotek a další systémy zejména u bezpečnosti. Například pro systém Brake-by-wire, což je systém který ovládá brzdy pomocí propojení přes sběrnici a hydraulická část je až u každého brzdového třmenu, se používá právě sběrnice Flexray díky své spolehlivosti. Sběrnice MOST, jak již bylo zmíněno, se využívá zejména pro infotainment, k propojení například audia, telefonu, či navigace. Na to samé může být využita například sběrnice Ethernet s tím, že tato sběrnice se také hojně využívá například u propojení kamer ve vozidle či dalších zařízení a to zejména pro správnou funkci jízdních asistentů.



Obrázek 27 Použití sběrnic v automobilech

8 ODHAD BUDOUCÍHO VÝVOJE SBĚRNIC

Po důkladném prostudování dostupných informací z domácích i zahraničních zdrojů se domnívám, že budoucí vývoj upřednostní sběrnice na bázi Ethernetu. Ethernet je rozšířený a využíváný v řadě odvětví a také pro automobilový průmysl bude velmi důležitý. S velkou výhodou bude možné rozvíjet užití Ethernetu například k propojení kamer a ostatních snímačů pro komunikaci a správnou funkčnost asistentů řízení. Sběrnice na bázi Ethernetu jsou už dnes využívány pro zajištění funkcí autonomních vozidel. V autonomních vozidlech vidím směr budoucího vývoje automobilového průmyslu a věřím, že jejich rozvoj je otázkou několika blízkých let. Přispívá k tomu i vznik různých testovacích polygonů, kde se autonomní vozidla zkoušejí a prověřují. Dalším důvodem, proč budou podle mého názoru čím dál více využívané datové sběrnice na bázi Ethernetu, je rostoucí elektromobilita. Do elektromobilů se rovněž zavádí systémy pro autonomní řízení a pro ně je zásadně důležitá rychlost a objem přenosu dat.

V automobilovém průmyslu ale dle mého názoru zůstanou taktéž sběrnice CAN nebo CAN FD. Sběrnice CAN je už po desetiletí osvědčená sběrnice a je hojně využívána. A z tohoto důvodu si myslím, že u vozidel nižších tříd bude využívána nadále, i kdyby jen ke komunikaci mezi méně náročnými zařízeními. Ve své podstatě i LIN může být nadále využívána, protože má své využití právě například u již zmiňovaných méně náročných zařízení. Také by se mohla a asi i měla používat s ohledem na náklady, které jsou znatelně nižší než u kterékoliv jiné sběrnice.

Naopak si myslím, že sběrnice MOST se již dále nebude tolik používat, alespoň ne ve verzi s optickým kabelem, který je sice výhodný pro přenos audia, ale z hlediska poruchovosti a údržby je tato sběrnice velmi nepraktická. Nepraktické je její zapojení do kruhu, při kterém když přestane fungovat jedna řídicí jednotka přestane fungovat celý okruh.

Budoucí vývoj se bude také dle mého názoru odvíjet od aplikace takzvaných Black boxů (černých skříněk), které jsou postupně zaváděny do automobilů. Jedná se o skříňku ve které je elektronika. Je velmi odolná například proti vysoké teplotě, nebo třeba odolává vodě. Zavádějí se zejména do autonomních vozidel, aby se při případné kolizi dokázala zjistit příčina proč auto havarovalo. To slouží k následným analýzám a následnému zlepšení jednotlivých funkcí. Druhý důvod zavádění černých skříněk je kvůli pojišťovnám, které dle těchto skříněk dokážou vyhodnotit styl jízdy a případně snižovat či zvyšovat pojištění vozidla. To je využíváno zejména v Anglii a myslím, že je to budoucnost i pro ostatní státy.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce měla ve vztahu k datovým sběrnicím několik cílů.

Primární bylo představit, popsat a porovnat jednotlivé typy datových sběrnic, s nimiž se můžeme setkat v automobilech, ať už staršího data výroby nebo současných. Informace o sběrnicích bylo nutné vyhledávat nejen v českých, ale zejména v zahraničních zdrojích. Komplexní souhrn s porovnáním parametrů všech dostupných a běžně používaných typů sběrnic nebyl podle mých zjištění dosud publikován. Proto jsem vytvořil přehlednou tabulku, která představuje nejdůležitější parametry jednotlivých sběrnic jako jsou rychlost přenosu, kabeláž, velikost dat, typická topologie, detekce chyb, hlavní použití, cena, maximální počet uzlů, délka sběrnice a typ protokolu.

Dále jsem se věnoval praktickým příkladům použití datových sběrnic v komunikaci řídicích systémů využívaných v automobilech.

V závěrečné části práce jsem na základě získaných informací nastínil odhad budoucího vývoje sběrnic v automobilech. Rostoucí nároky na výkon, ale zároveň i na bezpečnost, hospodárnost, šetrnost k životnímu prostředí a také na uživatelský komfort vytváří tlak na vývoj inovací v automobilovém průmyslu, kde elektronika a návazný software budou hrát zásadní roli. Význam elektroniky bude určitě čím dál větší.

Pokračováním této práce by mohla být analýza bezdrátové komunikace v automobilech, protože lze očekávat, že tímto směrem půjde budoucí vývoj. Pak by přehled komunikace systémů v automobilech byl kompletní a užitečný i pro zájemce z řad veřejnosti.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] TIŠNOVSKÝ, Pavel. Sběrnice v domácích a osobních počítačích. *Root.cz* [online]. 2008 [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/sbernice-v-domacich-a-osobnich-pocitacich/>
- [2] DUSIL, Tomáš. Technika: Elektronika v autech postupuje a nečeká. *Auto.cz* [online]. 2015 [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/technika-elektronika-v-autech-postupuje-a-neceka-88380>
- [3] Datové sběrnice. *ELUC* [online]. Olomouc [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1938>
- [4] Datové sběrnice. *Elektronicky řízené automobilové systémy* [online]. Vysoké nad Jizerou, 2012 [cit. 2020-12-14]. Dostupné z: <http://www.automobilove-systemy.wz.cz/bus.html>
- [5] Sběrnice. *ITnetwork.cz* [online]. Praha [cit. 2020-12-17]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/hardware-pc/hardware/tyy-sbernice>
- [6] HAASZ, Vladimír. *Elektrická měření: Přístroje a metody*. 3. Praha: ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06412-2.
- [7] VLČEK, Jiří. *Da_ad_prevodniky*. *Da_ad_prevodniky* [online]. [cit. 2021-1-3]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/docu/texty/0001/000102_da_ad_prevodniky.pdf
- [8] Nehořlavý lankový vodič. Koaxiální kabel se špičkou. *Stroysystems* [online]. [cit. 2021-1-3]. Dostupné z: <https://stroysystems.ru/cs/cable-and-wire/the-wire-is-noncombustible-stranded-coaxial-cable-with-a-tip.html>
- [9] Datové komunikace. *SPOJOVACÍ TECHNIKA* [online]. [cit. 2021-1-18]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/193/05.html>
- [10] ODRUŠENÍ. *Lazo.czechian.net* [online]. [cit. 2021-1-18]. Dostupné z: <http://lazo.czechian.net/elektrika/odruseni.htm>
- [11] ŽDÁNSKÝ, Bronislav. *Automobily 5: Elektrotechnika motorových vozidel I*. 4. Brno: AVID spol. s r.o., 2018. ISBN 978-80-87143-07-0.
- [12] POLÁK, Karel. Sběrnice CAN. *Elektrorevue* [online]. Brno, 2003 [cit. 2021-2-2]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>
- [13] BERAN, Martin. Datové sběrnice CAN. *DOCPLAYER* [online]. Brno [cit. 2021-2-2]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/3906211-Ustav-automobilniho-a-dopravniho-inzenyrstvi-datove-sbernice-can-brno-ceska-republika.html>
- [14] Jak a proč diagnostikovat datovou sběrnici CAN-BUS. *Motofocus.cz* [online]. 2017, 5.5.2017 [cit. 2021-2-2]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/technika/26453.jak-a-proc-diagnostikovat-datovou-sbernici-can-bus>

- [15] PARET, Dominique. Multiplexed networks for embedded systems: CAN, LIN, flexray, safe-by-wire.. Hoboken: Chichester: John Wiley, 2007, xiii, 418 s. : il. ISBN 978-0-470-03416-3.
- [16] RADVAN, Ladislav. MIKROKONTROLÉRY INFINEON TECHNOLOGIES: Sběrnice CAN (Controller Area Network). Praha. Semestrální. ČVUT.
- [17] Aplikování sběrnice CAN. *Vyvoj.hw.cz* [online]. Praha, 2004 [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <https://vyvoj.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/aplikovani-sbernice-can.html>
- [18] CAN Controller. *Vector E-Learning* [online]. Stuttgart, 2019 [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <https://elearning.vector.com/mod/page/view.php?id=357>
- [19] CAN FD Explained. *Csselectronics* [online]. Aabyhoej, 2020 [cit. 2021-3-15]. Dostupné z: <https://www.csselectronics.com/screen/page/can-fd-flexible-data-rate-intro/language/en>
- [20] Understanding CAN with Flexible Data-Rate (CAN FD). *Ni.com* [online]. Austin, 2019 [cit. 2021-3-24]. Dostupné z: <https://www.ni.com/cs-cz/innovations/white-papers/14/understanding-can-with-flexible-data-rate--can-fd-.html>
- [21] SUTORÝ, Tomáš. LIN (Local Interconnect Network). *Elektrorevue* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004 [cit. 2021-3-26]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/04012/index.html>
- [22] Learning Module LIN. *Vector E-Learning* [online]. Stuttgart, 2020 [cit. 2021-3-26]. Dostupné z: <https://elearning.vector.com/mod/page/view.php?id=309>
- [23] LIN Bus Explained. *Csselectronics* [online]. Aabyhoej, 2020 [cit. 2021-3-28]. Dostupné z: <https://www.csselectronics.com/screen/page/lin-bus-protocol-intro-basics/language/en>
- [24] FlexRay. *Vector E-Learning* [online]. Stuttgart, 2018 [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: <https://elearning.vector.com/mod/page/view.php?id=229>
- [25] VOJÁČEK, Antonín. Sběrnice a komunikace FlexRay nejen pro automobily. *Automatizace.hw.cz* [online]. Praha: HW server, 2007 [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: https://automatizace.hw.cz/sbernice-komunikace-flexray-nejen-pro-automobily?fbclid=IwAR025FS3lu0l7H_wiNGTWJtLZ3Rb4mOnWrsYgvBS_vr-04fBl1bl-7d_R8
- [26] MALINSKÝ, Jan. Komunikační standard FlexRay. *DOCPLAYER* [online]. Praha: ČVUT, 2016 [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/30582768-Komunikacni-standard-flexray.html>
- [27] Motivation for MOST. *Mostcooperation* [online]. Karlsruhe: MOST Cooperation, 2021 [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.mostcooperation.com/technology/introduction/>
- [28] Basics of MOST Bus on Automobiles. *Automobile Electrical System* [online]. 2016 [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://autoelectricalsystems.wordpress.com/2015/11/19/basics-of-most-bus-on-automobiles/>

- [29] MOST Bus. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2011 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/MOST_Bus
- [30] MOST (Media Oriented Systems Transport). *CVEL Automotive electronics* [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://cecas.clemson.edu/cvel/auto/Buses/MOST.html>
- [31] MOST Network. *Mostcooperation* [online]. Karlsruhe: MOST Cooperation, 2021 [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.mostcooperation.com/technology/most-network/>
- [32] Ethernet. *Vector E-Learning* [online]. Stuttgart: Vector Informatik, 2018 [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://elearning.vector.com/mod/page/view.php?id=15>
- [33] BroadR-Reach Technology. *Broadcom* [online]. Broadcom Corporation, 2014 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://www.ieee802.org/3/1TPCESG/public/BroadR_Reach_Automotive_Spec_V3.0.pdf
- [34] EtherCAT-the Ethernet Fieldbus. *EtherCAT Technology Group* [online]. Nuremberg: ETG Headquarters [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.ethercat.org/en/technology.html>
- [35] Precise synchronization with EtherCAT. *NASA uses Wheelift* [online]. 2016 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: https://www.pc-control.net/pdf/022016/solutions/pcc_0216_nasa-wheelift_e.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

<i>ABS</i>	Anti-lock Brake System – Protiblokovací systém
<i>ACK</i>	ACKnowledgement Field – Potvrzovací pole
<i>AND</i>	Logical sum – Logický součet
<i>ASR</i>	Anti-Slip Regulation – Systém regulace prokluzu kol
<i>CAN</i>	Controller Area Network – Datová sběrnice
<i>CAN FD</i>	CAN with Flexible Data rate – Datová sběrnice
<i>CAN High</i>	Označení napěťového signálu sběrnice CAN
<i>CAN Low</i>	Označení napěťového signálu sběrnice CAN
<i>CD/DVD</i>	Compact disc/Digital versatile disc – Nosič dat
<i>CRC</i>	Cyclic Redundancy Check – Cyklický redundantní součet
<i>ECU</i>	Electronic Control Unit – Elektronická řídicí jednotka automobilu
<i>EOF</i>	End of Frame – Ukončovací pole
<i>ETG</i>	Ethercat Technology Group – Globální organizace
<i>EtherCAT</i>	Ethernet for Control Automation Technology – Ethernet na bázi sběrnice
<i>I2C</i>	Inter-Integrated Circuit – Interní sériová sběrnice
<i>ID</i>	Identifier – Identifikátor
<i>IDE</i>	Identifier Extension Bit – Bit rozšíření identifikátoru
<i>IEEE</i>	Institute of Electrical and Electronics Engineers – Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
<i>ISO</i>	International Organization for Standardization – Mezinárodní organizace pro normalizaci
<i>LIN</i>	Local Interconnect Network – Datová sběrnice
<i>MAC</i>	Media Access Control – jednoznačný identifikátor síťového zařízení
<i>MOST</i>	Media Oriented System Transport – Datová sběrnice
<i>NASA</i>	National Aeronautics and Space Administration – Národní úřad pro letectví a vesmír
<i>NIT</i>	Network Idle Time – Segment doby nečinnosti sítě
<i>PVC</i>	Polyvinylchlorid
<i>TPID</i>	Tag Protocol Identifier – Identifikátor protokolu značky
<i>USB</i>	Universal Serial Bus – Univerzální sériová sběrnice
<i>VLAN</i>	Virtual Local Area Network – Logická síť